

Maria Isabel Marques Vilela

A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO COLETIVA

FACULDADE DE COMUNICAÇÃO, ARTES, ARQUITETURA E
TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

Porto

2013

Maria Isabel Marques Vilela

A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO COLETIVA

Dissertação apresentada na Universidade Lusófona do Porto para a obtenção
do grau de Mestre em Arquitetura

Orientador: Professor Engenheiro Rui Furtado

UNIVERSIDADE LUSÓFONA DO PORTO
FACULDADE DE COMUNICAÇÃO, ARTES, ARQUITETURA E
TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO

Porto

2013

Agradecimentos

Ao longo da realização do presente estudo são muitos os nomes a quem tenho de agradecer e cujo contributo e apoio prestado foram de fundamental importância na elaboração do mesmo.

Em primeiro lugar, aos meus pais, pois a eles fundamentalmente se deve o ter chegado aqui e, ao meu irmão e cunhada pelo interesse demonstrado.

Ao orientador, Engenheiro Rui Furtado, por me ter acompanhado na dissertação e a todos os professores com quem, ao longo dos últimos cinco anos, contactei e que contribuíram para a minha formação.

Ao André e à Joana pela amizade e por tantas sessões de trabalho partilhadas.

Aos meus amigos pelo apoio e compressão demonstrada e, a quem, ao longo dos últimos meses, não dediquei a atenção merecida.

Ao Sr. Luís Jorge, da KLH Tisem, assim como à Sra. Stephanie Esser da KLH Massivholz GmbH, pela simpatia e ajuda que disponibilizaram.

A todos o meu mais sincero obrigado.

Índice Geral

Agradecimentos.....	I
Índice Geral.....	II
Índice de Figuras.....	V
Índice de Tabelas.....	XIV
Índice de Gráficos.....	XIV
Índice de Anexos.....	XVI
Resumo.....	XVII
Abstract.....	XVIII
Palavras-chave.....	XIX
Lista de abreviaturas.....	XX

Capítulo 1: Introdução

1.1. Apresentação do objeto de estudo.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.3. Contextualização e justificação do tema.....	5
1.4. Metodologia e estrutura do trabalho.....	7

Capítulo 2: Enquadramento histórico e arquitetónico

2.1. A evolução do uso da madeira na habitação.....	11
2.1.1. Casas de troncos – “Loghomes”.....	18
2.1.2. Estruturas em madeira pesadas – “Heavy Timber”.....	18
2.2.2.1. Sistema Porticado – “Post & Beam”.....	20
2.2.2.2. Sistema Entramado – “Timber Frame”.....	20
2.1.3. Estruturas em madeira leve – “Light Framing”.....	22
2.1.3.1. Estruturas em “Balloon Framing”.....	24
2.1.3.2. Estruturas em plataforma.....	24
2.1.4. Estruturas pré-fabricadas.....	26
2.2. O papel da madeira na habitação típica portuguesa.....	28
2.2.1. Estruturas em gaiola.....	28
2.2.2. Casas burguesas do século XIX.....	30
2.2.3. Palheiros.....	30
2.2.4. Taipa.....	32

Capítulo 3: Especificações técnicas da madeira

3.1. As vantagens do uso da madeira.....	35
3.1.1. Segurança e estabilidade estrutural.....	35
3.1.2. Durabilidade.....	39

3.1.3. Sustentabilidade e impacto ambiental.....	45
3.1.4. Relação energia-eficiência.....	51
3.1.5. Relação custos-eficiência.....	51
3.1.6. Segurança contra incêndios.....	53
3.1.7. Comportamento térmico.....	56
3.1.8. Tempos de construção.....	58
3.1.9. Construção híbrida.....	59
3.1.10. Resistência química.....	60
3.2. Tipos de madeira e derivados – características.....	62
3.2.1. Madeira maciça versus madeira laminada.....	64
3.2.2. Contraplacados.....	66
3.2.3. MDF.....	67
3.2.4. OSB.....	68
3.2.5. CLT.....	68
3.2.6. PSL, LSL e LVL.....	70
3.2.7. FP.....	70
3.3. As uniões em estruturas de madeira.....	72
3.3.1. Uniões tradicionais ou de carpintaria.....	72
3.3.2. Uniões coladas.....	74
3.3.3. Uniões mecânicas.....	76

Capítulo 4: O paradigma da habitação coletiva em madeira

4.1. A habitação em madeira na atualidade.....	81
4.2. O contributo da madeira para a habitação coletiva.....	84
4.3. A madeira para a imagem do edifício.....	90

Capítulo 5: Casos de estudo

5.1. Análise dos Casos.....	95
5.1.1. KLH Massivholz GmbH.....	95
5.1.1.1. Murray Grove Building.....	98
5.1.1.2. Forté Livingstone.....	102
5.1.2. Life Cycle Tower (LCT).....	104
5.1.2.1. Life Cycle Tower ONE.....	106
5.1.3. Finding Forest Through the Trees (FFTT).....	110
5.1.4. Timber Tower Research Project.....	112
5.2. Comparação entre Casos.....	115

Capítulo 6: Caso prático

6.1. Memória Descritiva e Justificativa.....	119
6.1.1. Localização e contextualização urbana do local de inserção.....	119

6.1.2. Ideia do projeto.....	120
6.1.3. Implantação, volumetria e escala.....	122
6.1.4. Acessos, circulações e organização funcional.....	122
6.1.5. Aspetos construtivos, materiais e relação com a imagem do edifício.....	122
6.1.5.1. Fundações.....	124
6.1.5.2. Paredes exteriores e interiores.....	124
6.1.5.3. Pavimentos.....	126
6.1.5.4. Tetos.....	128
6.1.5.5. Cobertura.....	128
6.1.5.6. Escadas, corrimões e caixilharias.....	128
6.2. Principais problemáticas encontradas.....	131
6.2.1. Legislação em vigor.....	131
6.2.2. Segurança contra incêndios.....	131
6.2.3. Comportamento acústico.....	132
6.2.4. Estimativa orçamental.....	135
 Capítulo 7: Considerações finais	
7.1. Conclusão.....	141
 Fontes Consultadas	145
Bibliografia.....	145
Monografias eletrónicas/Publicações <i>on-line</i>	147
Teses/ Dissertações.....	147
Revistas/ Publicações em série.....	148
<i>Sítes</i> visitados.....	148
Outras Fontes.....	149
Anexos.....	151

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de uma “Pit House”, em corte

FONTE: TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 3

Figura 2: Exemplo de uma construção tradicional japonesa, em corte

FONTE: MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estructuras de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 6

Figura 3: Templo de *Horyu-Ji*, Nara, Japão, 607 d.C.

FONTE: <http://www.yunphoto.net/pt/photobase/yp4496.html> (Maio 2013)

Figura 4: Aldeamento de casas de troncos de Biscupin, 700 a.C.

FONTE: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Biskupin_-_gate_and_wall.jpg (Agosto 2013)

Figura 5: Palácio *Katsura*, Quioto, séc. XVII

FONTE: <http://ocantinhooriental.blogspot.pt/2010/03/arte-arquitectura-japonesa.html> (Maio 2013)

Figura 6: *Bundesgartenschau*, Frei Otto, Mannheim, 1975

FONTE: <http://www.detail.de/architektur/themen/form-follows-nature-020664.html> (Maio 2013)

Figura 7: Residência de Verão de Albert Einstein, Konrad Washsmann

FONTE: <http://www.flickr.com/photos/dteil/6209128558/lightbox/> (Maio 2013)

Figura 8: *General Panel System*, K. Washsmann e W. Gropius

FONTE: <http://diffusive.files.wordpress.com/2009/08/gropius-office-19231.jpg> (Setembro 2013)

Figura 9: *Le Petit Cabanon*, Le Corbusier, 1950

FONTE: <http://blog.slate.fr/anti-blogue-la-mode/files/2012/05/Int%C3%A9rieur-du-Cabanon-Le-Corbusier-2-Copyright-FLC-ADAGP-OMG.jpg> (Setembro 2013)

Figura 10: *Chamberlain Cottage*, Walter Gropius e Breuer, 1941

FONTE: <http://www.archdaily.com/230833/syracuse-university-unveils-first-phase-of-marcel-breuer-digital-archive/00011-001/> (Setembro 2013)

Figura 10: Exemplo de casa de troncos

FONTE: <http://www.tjshengshi.com/productshow.asp?id=2282> (Julho 2013)

Figura 11: Construção de madeira pesada

FONTE: http://heavy-timber-construction.blogspot.pt/2008_09_01_archive.html (Maio 2013)

Figura 12: Exemplo de construção em madeira pesada

FONTE: <http://www.warrenhomebuilders.com/299cisneros.htm> (Julho 2013)

Figura 14: Esquema de estrutura de sistema porticado

FONTE: <http://canadapostandbeam.com/howto.html> (Julho 2013)

Figura 15: Sistema entramado

FONTE: <http://www.homearchitects.com/post-and-beam>

Figura 16: Sistema entramado (detalhes)

FONTE: <http://www.homearchitects.com/post-and-beam>

Figura 17: Esquema de construção em estrutura de madeira

FONTE: <http://www.diy-resources.com/orth-basic-remodeling-techniques-1-0.html> (Maio 2013)

Figura 18: Estrutura de madeira leve

FONTE: <http://blog.danbrunn.com/wp-content/uploads/2011/02/covered-sunlight.jpg> (Maio 2013)

Figura 19: Esquema de construção do tipo “*Balloom Framing*”

FONTE: <http://www.diy-resources.com/orth-basic-remodeling-techniques-1-0.html> (Maio 2013)

Figura 20: Esquema de construção em plataforma

FONTE: <http://www.diy-resources.com/orth-basic-remodeling-techniques-1-0.html> (Maio 2013)

Figura 21: Exemplo de uma estrutura em gaiola

FONTE: http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html (Setembro 2013)

Figura 22: Estrutura em gaiola (detalhe)

FONTE: http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html (Setembro 2013)

Figura 23: Construção antissísmica com recurso a gaiolas de madeira

FONTE: http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html (Setembro 2013)

Figura 24: Esquema de casa burguesa do século XIX

FONTE: <http://saramonteiroblender.files.wordpress.com/2012/04/casa-burguesa-porto.jpg> (Setembro 2013)

Figura 25: Palheiros da Praia de Mira

FONTE: <http://olhares.sapo.pt/palheiros-da-praia-de-mira-foto3619031.html> (Maio 2013)

Figura 26: Beichuan, 100 km a noroeste de Chengdu, depois do terramoto de Wenchuan

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 56

Figura 27: Casa com estrutura de madeira que resistiu ao terramoto de Wenchuan com danos mínimos que podem rapidamente ser reparados

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 56

Figura 28: Teste sísmico a um edifício de 6 pisos com estrutura de madeira, Japão

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 57

Figura 29: Igreja de madeira vertical de Urnes, Noruega, séc. XII

FONTE: <http://ultima0thule.blogspot.pt/2009/11/heddal-stave-church-in-norway.html> (Setembro 2013)

Figura 30: Pagode de *Doigo-ji*, Quito, 951 d.C.

FONTE: http://santajibu.s143.xrea.com/photo/temple/toh_5/to5_07_1.jpg (Julho 2013)

Figura 31: *Barsana Monastery*, complexo de igrejas ortodoxas, onde se localiza a estrutura de madeira mais alta da Europa (56 m), Roménia, 1720

FONTE: <http://openwalls.com/image?id=24861&hsearch=barsana+monastery> (Setembro 2013)

Figura 36: As árvores, durante o processo de fotossíntese, captam dióxido de carbono da atmosfera e libertam oxigénio

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 28

Figura 37: Logotipo do FSC, The Forest Stewardship Council

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 71

Figura 38: Logotipo do PEFC, The Programme for the Endorsement of Forest Certification

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 71

Figura 39: Logotipo da SFI, Sustainable Forestry Initiative

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 71

Figura 40: Incêndio de 1953 na fábrica da General Motores

FONTE: PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 5

Figura 41: Viga de madeira laminada colada estrutural após teste de resistência ao fogo. A madeira que resistiu ao teste mantém a sua resistência estrutural.

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 59

Figura 42: Pilar de madeira carbonizado

FONTE: PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 42

Figura 43: Viga de madeira a sustentar vigas de metal

FONTE: http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_27/madeira.html (Setembro 2013)

Figura 44: As estruturas de madeira proporcionam espaço para a colocação de isolamento

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 44

Figura 45: A lã de rocha, além de isolar termicamente, tem um papel fundamental na segurança contra incêndios, uma vez que é incombustível

FONTE:

Figura 46: Colocação de isolamento mineral (lã de rocha) numa parede de madeira

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 43

Figura 47: Colocação de painéis prefabricados de madeira num edifício de estrutura de betão

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 17

Figura 48: Colocação de painel de parede de madeira num edifício de estrutura de betão

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 40

Figura 49: Edifício multifamiliar em madeira construído sobre pisos de betão

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 16

Figura 50: Construção de uma cobertura de madeira num edifício de betão

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 18

Figura 51: Cobertura curva em madeira laminada colada

FONTE: <http://estruturasdemadeira.blogspot.pt/2009/02/holzbau-2-madeira-laminada-colada.html> (Setembro 2013)

Figura 52: Teto com vigas curvas de madeira laminada

FONTE: http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=225 (Julho 2013)

Figura 53: Ponte pedonal em madeira laminada colada

FONTE: http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=225 (Julho 2013)

Figura 54: Ponte pedonal em madeira laminada colada do "Lago dei tre comuni", Itália, 2008

FONTE: http://pef20603g03.files.wordpress.com/2011/06/ponte_pedonal_e_sul_lado_dei_tre_comuni_1.jpg (Julho 2013)

Figura 55: Placas de contraplacado

FONTE: <http://portaldamadeira.blogspot.pt/2010/01/contraplacado-tipos-e-aplicacao.html> (Julho 2013)

Figura 56: Placas de MDF

FONTE: <http://www.tocadacotia.com/wp-content/uploads/2012/08/Placa-de-MDF-Sem-Acabamento.jpg> (Julho 2013)

Figura 57: Placas de OSB

FONTE: <http://image.made-in-china.com/2f0j00QBitoHudalcp/OSB-Board.jpg> (Julho 2013)

Figura 58: Placas de CLT

FONTE: http://www.esi.info/detail.cfm/Mets%C3%A4-Wood-UK/Leno-crosslaminated-timber-floor-and-wall-panels/_/R-38240_SS156RZ (Julho 2013)

Figura 59: Placas de PSL

FONTE: <http://hci.frontstepsmedial.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2009/10/PSL-Beam.jpg> (Julho 2013)

Figura 60: Placas de LSL

FONTE: <http://www.dataholz.at/cgi-bin/WebObjects/dataholz.woa/wa/baustoff?baustoff=Spannstreifenholz&language=en> (Julho 2013)

Figura 61: Placas de LVL

FONTE: <http://www.calco.com.au/LVL.htm?id=211> (Julho 2013)

Figura 62: Placas de FP

FONTE: <http://amaeco.blogspot.pt/p/materiais-e-acabamentos-madeiras.html> (Julho 2013)

Figura 63: Transmissão direta, transmissão por justaposição e transmissão indireta (da esquerda para a direita)

FONTE: SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis:Universidade Federal de Santa Catarina; 131

Figura 64: Exemplo de ligação por entalhe ou sambladura

FONTE: SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis:Universidade Federal de Santa Catarina; 134

Figura 65: Exemplos de uniões tradicionais ou de carpintaria

FONTE: <http://construironline.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=1790> (Maio 2013)

Figura 66: Exemplos de uniões tradicionais ou de carpintaria

FONTE: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Woodworking-joint-lap.svg> (Maio 2013)

Figura 67: Emendas entre tábuas de madeira laminada

FONTE: SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis:Universidade Federal de Santa Catarina; 172

Figura 68: Soalho “à inglesa”

FONTE: MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 66

Figura 69: Soalho “à portuguesa”

FONTE: MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 66

Figura 70: Outros exemplos de encaixes tradicionais

FONTE: <http://tecnicasdemarcenaria.blogspot.pt/2011/07/encaixes-em-madeira.html> (Maio 2013)

Figura 71: Exemplos de uniões mecânicas

FONTE: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2012-1/materiais/Topico3.htm (Maio 2013)

Figura 72: Montagem em ângulo com âncoras metálicas

FONTE: <https://www.gamma.nl/houtverbindingen-haakse-verbinding-met-metalen-ankers> (Maio 2013)

Figura 73: Escola Superior Suíça para a Engenharia da madeira

FONTE: ROSELIO, Graciela. 2001. *Escuela Superior Suiza para la Ingeniería de la Madera Meili & Peter com Zeno Vogel. Tectónica Estruturas maderas (II)*, no 13, p. 49

Figura 74: Bridport House, Londres, 2010

FONTE: http://www.hdawards.org/winning_schemes/completed_winners/bridport_house.php (Setembro 2013)

Figura 75: Residência Hélio Olga, Marcos Acayaba, São Paulo, 1990

FONTE: http://www.iau.usp.br/revista_risco/Risco9-pdf/02_art03_risco9.pdf (Agosto 2013)

Figura 76: The Open Academy, Norwich

FONTE: <http://www.buildingcentre.co.uk/OpenAcademyNorwichCaseStudy.pdf> (Agosto 2013)

Figura 77: Teste realizado a um edifício em madeira de 7 pisos de altura na *E-Defense Shake Table*, Japão

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 57

Figura 78: Edifícios de habitação coletiva de madeira com 4 pisos de altura, Canadá

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 3

Figura 79: Edifício de habitação coletiva de *Wagramerstraße*, Viena, Áustria, 2013

FONTE: <http://www.proholz.at> (Setembro 2013)

Figura 80: Edifício de 8 pisos de habitação coletiva e escritórios, *Bad Aibling*, Alemanha, 2011

FONTE: <http://www.proholz.at> (Setembro 2013)

Figura 81: Edifícios de habitação coletiva de *Breitenfurterstraße*, Viena, 2013

FONTE: <http://www.proholz.at> (Setembro 2013)

Figura 82: A madeira transmite a sensação de calor e conforto

FONTE: <http://www.casadaslareiras.com.br/imagens/decoracao-de-sala-de-estar-com-lareira-pequena.jpg> (Setembro 2013)

Figura 83: Pavilhão Suíço da Expo Hannover, 2000, Peter Zumthor

FONTE: <http://karlacunha.com.br/premio-pritzker-2009-peter-zumthor/> (Julho 2013)

Figura 84: Interiores em madeira da *Inbetween House*, Tóquio, 2010, Koji Tsutsui Architect & Associates

FONTE: <http://www.archdaily.com/131318/inbetween-house-koji-tsutsui-architect-associates/inbetween-hse-tsutsui-6881/> (Setembro 2013)

Figura 85: Casa revestida com “tiras de madeira verticais”, em Lauterach, Alemanha

FONTE: GRULL, Gerhard. 2012. Coatings for Wood in Exterior Use. *Detail Review of Architecture and Construction Details. Timber Construction*, no 2, p. 172

Figura 86: Madeira não tratada de uma Casa de Campo em Tyrol, Áustria

FONTE: GRULL, Gerhard. 2012. Coatings for Wood in Exterior Use. *Detail Review of Architecture and Construction Details. Timber Construction*, no 2, p. 172

Figura 87: Murray Grove Building, Londres, 2009

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 6

Figura 88: Life Cycle Tower ONE, Dornbirn, 2012

FONTE: <http://detail-online.com/inspiration/administrative-building-in-dornbirn-106113.html> (Setembro 2013)

Figura 89: Projeto FTTT (não executado)

FONTE: <http://hqinfo.blogspot.pt/2012/05/earthed-tall-wood-buildings.html> (Setembro 2013)

Figura 90: Planta de implantação

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 2

Figura 91: Planta tipo dos apartamentos para a Metropolitan Housing Trust (3º piso)

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 3

Figura 92: Planta tipo dos apartamentos para privados (5º piso)

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 3

Figura 93: Pormenores A e B

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 6

Figura 94: Corte axonométrico c/ indicação dos pormenores

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 4

Figura 95: Típica parede interior fixa ao pavimento

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 96: Típica parede interior fixa ao pavimento

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 97: Instalação de painéis de pavimento

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 98: Instalação de painéis de pavimento

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 99: Fácil fixação dos elementos e dos acessórios de suporte a infraestruturas

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 100: Fácil fixação dos elementos e dos acessórios de suporte a infraestruturas

FONTE: TRADA. 2009. Stadthaus, 24 Murray Groove, London. Buckinghamshire: TRADA Technology; 5

Figura 101: Forté Livingstone

FONTE: <http://www.thefifthestate.com.au/archives/51883/> (Setembro 2013)

Figura 102: Residência de estudantes Trehus, Bergen, Noruega

FONTE: <http://www.tu.no/bygg/2010/04/21/verdens-hoyeste-trehus-i-kirkenes> (Setembro 2013)

Figura 103: Esquema construtivo do edifício Trehus

FONTE: <http://www.tu.no/bygg/2010/04/21/verdens-hoyeste-trehus-i-kirkenes> (Setembro 2013)

Figura 104: Esquema dos módulos de piso

FONTE: <http://www.proholz.at/zuschnitt/45/der-schluessel-zum-hochhaus/> (Setembro 2013)

Figura 105: Colocação dos elementos de piso

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 53

Figura 106: Ângulos metálicos de fixação entre o reforço de betão da viga e os elementos de piso

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 54

Figura 107: Planta tipo dos pisos de apartamentos

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 51

Figura 108: Planta tipo dos pisos de escritórios

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 51

Figura 109: Fachada revestida a alumínio

FONTE: <http://www.modemconclusa.de/presseservice/detail/lifecycle-tower-one-eine-vision-hat-gestalt-angenommen.html> (Setembro 2013)

Figura 110: Pormenor de canto da parede

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 52

Figura 111: Corte do piso/ fachada

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 52

Figura 112: Corte pelo piso e parede divisória interior

FONTE: KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. Detail Green, no 2, p. 53

Figura 113: Esquema de construção da torre (1º. Fundações em betão; 2º. Caixa central de acessos verticais em madeira; 3º. Vigas metálicas; 4º. Paredes exteriores estruturais em madeira; 5º. Revestimento do edifício)

FONTE: GREEN, Michael. 2012. The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 65 - 67

Figura 114: Pormenor de cobertura, piso e parede exterior

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 133

Figura 115: Timber Tower Research Project, 2013 (não executado)

FONTE: <https://www.som.com/node/6356?overlay=true> (Setembro 2013)

Figura 116: Dewitt-Chestnut Apartments, Chicago, 1965

FONTE: SOM. 2013. *Timber Tower Research Project*. Chicago: SOM; 1

Figura 117: Pormenor da junta de betão que fixa a estrutura de madeira

FONTE: SOM. 2013. *Timber Tower Research Project*. Chicago: SOM; 7

Figura 118: Esquema da união da junta de betão com a estrutura de madeira

FONTE: <https://www.som.com/node/6356?overlay=true> (Setembro 2013)

Figura 119: Planta tipo dos pisos inferiores

FONTE: SOM. 2013. *Timber Tower Research Project*. Chicago: SOM; 14

Figura 120: Planta de localização (vista aérea)

FONTE: Google Earth (Setembro 2013)

Figura 121: Rua Duque de Loulé (*Bird's eye*)

FONTE: Bing Maps (Setembro 2013)

Figura 122: Planta de implantação

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 123: Planta do Piso 0

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 124: Fotografia da maqueta (Volumetrias)

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela, Turma do 5º ano, ano letivo 2012/13 (Junho 2013)

Figura 125: Fotografia da maqueta (Edifício)

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 126: Planta do Piso 1 (Piso tipo)

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 127: Corte AA'

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 128: Corte BB'

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 129: Corte CC'

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 130: Ligações horizontais e verticais por ligadores metálicos (a azul) e por bandas de assentamento (a vermelho) de placas de CLT a fundações de betão

FONTE: TORRES, João Tiago Caridade. 2010. Sistemas Construtivos Modernos em Madeira. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 66

Figura 131: Pormenor da parede exterior (em corte)

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 132: Pormenor de parede interior (em planta)

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 133: Alçado Nascente

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 134: Pormenor da laje de piso

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 135: Pormenor da cobertura dos volumes de madeira

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Junho 2013)

Figura 136: Laje do Dewitt-Chestnut Apartments

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 18

Figura 137: Laje dos apartamentos para aluguer do Timber Tower Research Project

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 18

Figura 138: Laje dos apartamentos para venda do Timber Tower Research Project

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 18

Figura 139: Parede do Dewitt-Chestnut Apartments

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 19

Figura 140: Parede dos apartamentos para aluguer do Timber Tower Research Project

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 19

Figura 141: Parede dos apartamentos para venda do Timber Tower Research Project

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 19

Índice de Tabelas

Tabela 1: Número de casualidades em alguns sismos históricos

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 55

Tabela 2: Quadro-síntese comparativo dos casos de estudo

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Setembro 2013)

Tabela 3: Classes de reação ao fogo dos materiais

FONTE: TAFIBRA, última atualização Junho 2006 (http://www.tafibra.com/downloads/file85_pt.pdf)

Tabela 4: Comparação de performance acústica entre o Timber Tower Research Project e o Dewitt Chestnut

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 17

Tabela 5: Estimativa orçamental e análise comparativa do edifício do FTTT e de uma construção semelhante em betão

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 226

Tabela 6: Comparação de preços por m² e por apartamento do edifício do FTTT e de uma construção semelhante em betão

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 226

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 0 aos 25 anos de idade)

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61

Gráfico 2: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 26 aos 50 anos de idade)

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61

Gráfico 3: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 51 aos 75 anos de idade)

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61

Gráfico 4: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 76 aos 100 anos de idade)

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61

Gráfico 5: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (com idade superior a 100 anos)

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61

Gráfico 6: Poluição e desperdícios gerados pelos materiais tendo em conta as habitações unifamiliares dos EUA

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 36

Gráfico 7: Avaliação do ciclo de vida de apartamentos similares segundo o material estruturante

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 37

Gráfico 8: O consumo de recursos e o impacto ambiental segundo o material estruturante

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 37

Gráfico 9: Distribuição de florestas certificadas a nível mundial

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 71

Gráfico 10: Comparação de custos entre a construção de edifícios de três pisos em madeira e em betão nos EUA

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 49

Gráfico 11: Altura máxima de edifícios em estrutura de madeira segundo Regulamentação

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 49

Índice de Anexos

Anexo A: Desenhos de Projeto

A1. Desenhos da estratégia geral para o quarteirão.....	01
A2. Planta do Piso 0.....	02
A3. Plantas dos Pisos 1 a 4.....	03
A4. Perfis longitudinais.....	04
A5. Perfis transversais.....	05
A6. Alçados.....	06
A7. Corte construtivo e pormenores.....	07

Anexo B: Fotografias

B1. Fotografias do local.....	i
B2. Fotografias da Maqueta 1:200.....	iii
B3. Fotografias da Maqueta 1:50.....	v

Anexo C: Legislação

C1. Regulamento de Segurança contra Incêndio.....	i
C2. Regulamento Geral do Ruído.....	iv

Resumo

A madeira, juntamente com a terra e a pedra, representaram ao longo dos tempos os materiais mais empregues na construção, até meados do século XIX em que a descoberta de novos materiais, caso nomeadamente do aço e do betão armado, a remeteu para um segundo plano. Atualmente, esta encontra-se a retomar o seu lugar de destaque na construção muito devido a preocupações ambientais globais e a uma consciencialização mais esclarecida em relação às propriedades e vantagens do uso deste material nobre, cuja principal característica é a sua capacidade de regeneração.

O interesse e procura por este material tem vindo a aumentar devido, também, ao desenvolvimento da indústria da madeira que levou à criação de um vasto número de derivados muitos apelativos quer a nível estético como económico – prefabricação. Esta indústria deu também origem a novos e sofisticados sistemas construtivos que dispensam o recurso a estruturas de vigas e pilares, concretizando-se pelo recurso a painéis com função estrutural e onde as propriedades da madeira se veem exploradas e incrementadas ao máximo. Exemplo disso é o sistema austríaco da KLH, usado para construir o edifício de habitação coletiva em madeira mais alto do mundo.

Num futuro próximo, que começou já a avançar, prevê-se que a construção de estruturas em madeira seja cada vez mais presente inclusive inserida em contextos urbanos consolidados e em construções cada vez mais ambiciosas em altura.

Abstract

Timber represented over the time the main material used in the construction until the mid-twentieth century when the discovery of new materials, namely the reinforced concrete, sent timber to the background. Currently, this is taking again a prominent place in construction due global environmental concerns and to a more enlightened awareness in relation to the properties and advantages of this noble material, whose main feature is its ability to regenerate.

The interest and demand for this material has increased also due to the development of the timber industry that created a vast number of derivatives very appealing aesthetic and economically - prefabrication. This industry also gave rise to new and sophisticated building systems that dispense the use of structures of beams and pillars, using only panels with structural function and where the properties of timber have been very exploited and augmented. The Austrian system of KLH, used to construct the world's tallest wooden building is an example of that.

In the near future, that has already begun, it is anticipated that the construction of wooden structures increased even included in consolidated urban contexts and constructions increasingly ambitious in height.

Palavras-chave: Arquitetura | Madeira | Estrutura | Habitação multifamiliar

Key words: Architecture | Timber | Structure | Multifamily habitation

Lista de abreviaturas

CE: Comunidade Europeia

CLT: *Cross Laminated Lumber* – Madeira laminada cruzada

EN: *European Standard* - Normativa europeia

ETA: *Electronics Technicians Association* – Associação de Técnicos Eletrónicos

EUA: Estados Unidos da América

FFTT: *Finding Forest Through the Trees* – Encontrar a floresta através das árvores

FP: Placa de partículas prensadas em plano

FSC: *Forest Stewardship Council* – Concelho administrativo da floresta

IIC: Impact Insulation Class – Classe de Isolamento de Impactos

IMI: Imposto Municipal sobre Imóveis

INE: Instituto Nacional de Estatística

K: Coeficiente de Transmissão Térmica

LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LCA: *Life Cycle Assessment* – Avaliação do ciclo de vida

LCT: *Life Cycle Tower* – Torre de Ciclo de Vida

LSL: *Laminated Strand Lumber* - Placa de aparas de madeira laminada colada

LVL: *Laminated Veneer Lumber* – Madeira laminada folheada

MDF: *Medium Density Fiberboard* – Aglomerado de fibras de média densidade

MUF: Resinas de melanina-urea-formaldehído

NHBC: *National House Building Council* – Concelho Nacional de Construção de Casas

NP: Norma Portuguesa

OSB: *Oriented Strand Board* – Placa de fibras orientadas

PEFC: *Programme for the Endorsment of Forest Certification* – Programa para o reconhecimento de certificado florestal

PRF: Resinas de fenol resorcinol

PSL: *Parallel Strand Lumber* - Madeira de fibras paralelas

PU: Resinas de Poliuretano

RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

SFI: *Sustainable Forestry Initiative* – Iniciativa Floresta Sustentável

SRU: Sociedade de Reabilitação Urbana

STC: Sound Transmission Class – Classe de Transmissão do Som

U: Índice de Condutividade Térmica

UF: Resinas de urea-formaldehído

WLC: *Whole Life Costing* – Custo total de vida

Capítulo 1: Introdução

- 1.1. Apresentação do objeto de estudo
- 1.2. Objetivos
- 1.3. Contextualização e justificação do tema
- 1.4. Metodologia e estrutura do trabalho

1.1. Apresentação do objeto de estudo

O tema abordado no presente estudo é referente à construção de novos edifícios de habitação coletiva com estrutura em madeira, inseridos num contexto urbano. Depois de apresentadas todas as informações necessárias para o entendimento do tema da construção em madeira, é utilizado um caso prático, desenvolvido ao longo do ano letivo 2012/2013, nas disciplinas de Projeto III e Projeto IV.

O caso prático trata-se de um edifício de habitação coletiva localizado na Rua Duque de Loulé, freguesia da Sé, concelho do Porto, que determina o fecho de quarteirão, no espaço livre entre um edifício de habitação unifamiliar do século XIX e um edifício de habitação coletiva do século XX.

1.2. Objetivos

Com a elaboração do presente estudo pretende-se:

- Desmitificar o “preconceito” que em Portugal se tem em relação ao uso da madeira como principal material de construção;
- Conhecer a história, o desenvolvimento das estruturas de madeira e os exemplos mais significativos até à atualidade;
- Apresentar as vantagens da madeira na construção e estabelecer paralelismos com os materiais concorrentes;
- Conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira, limitações e procedimentos que atenuam/ eliminam os problemas associados;
- Diferenciar os produtos derivados da madeira e as suas características;
- Apresentar e compreender diversos exemplos de edifícios e sistemas construtivos da atualidade que usam estrutura em madeira;
- Elaborar de um estudo, que se considera pertinente devido à escassez de exemplos referentes à temática das estruturas de madeira aplicadas a edifícios de habitação multifamiliar;
- Propor um edifício complexo utilizando estruturas em madeira que sirva de exemplo/ influência para posteriores projetos;
- “Atualizar” e “aproximar” Portugal dos outros países do mundo em que a madeira representa o principal material de construção utilizado;

1.3. Contextualização e justificação do tema

A utilização da madeira como elemento estrutural embora pouco frequente nas novas construções realizadas em Portugal é uma realidade muito vinculada em praticamente todo o mundo. Recentemente, “a madeira tem vindo a implantar-se em áreas que anteriormente pareciam fora do alcance, como em edifícios de grande escala e inseridos em contextos urbanos consolidados e em edifícios de habitação multifamiliar”.¹

Um exemplo histórico da utilização da madeira na construção nacional é o da habitação dita tradicional do Porto, isto é, da casa burguesa do século XIX, em que se verifica que a madeira era um material de destaque, sendo utilizado no vigamento, em pavimentos, na estrutura da cobertura e em escadas. No entanto, a partir desse século, aliado ao desenvolvimento industrial, deu-se um “desuso” deste material, muito devido à descoberta de novos materiais de construção, nomeadamente, do aço e do betão armado e ao reconhecimento das propriedades e possibilidades que estes permitiam, assim como devido à criação de bases de cálculo.²

Atualmente, no entanto, o interesse pela construção em madeira tem vindo a aumentar muito devido a preocupações ambientais, ao reconhecimento das propriedades e vantagens deste material e ao desenvolvimento da competitiva indústria dos derivados de madeira.

“A construção sempre refletiu os valores culturais e espirituais da sociedade.” Atualmente, além da arquitetura, das formas construídas, e dos critérios de engenharia de materiais e estruturas, construir precisa, também de ter em conta características ecológicas devido à crescente preocupação ambiental e, assim questionar e validar a viabilidade de uma estrutura futuramente. Novos critérios devem ser implementados, como por exemplo, a extração e proveniência dos materiais, os meios necessários na produção dos produtos e as suas próprias características.³

No decorrer do levantamento escrito e documental verificou-se que o tema da construção de edifícios em madeira tem sido bastante abordado sendo hoje uma realidade cada vez mais vinculada na Arquitetura e na construção. Este é, por tanto, um assunto muito atual e em constante estudo e aprofundamento, com o intuito de procurar novas soluções cada vez mais eficientes. Acontece que, os exemplos encontrados em relação a esta temática são maioritariamente voltados

¹ SCHITTICH, Christian. 2012. Editorial. *Detail Review of Architecture and Construction Details. Timber Construction*, no 2, p. 116 “Wood is forging ahead into areas that were to date beyond reach, be it the urban context or large-scale, multi-storey apartment buildings.”

² TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; iii “...até ao início do século XX, em que emerge o betão armado apoiado no reconhecimento das suas propriedades, criação de bases de cálculo e no desenvolvimento industrial.”

³ HERZOG, Thomas; NATTERER, Julius; SCHWETZER, Roland; VOLZ, Michael; WINTER, Wolfgang. 2004. *Timber Construction Manual*. Basel: Birkhäuser; 48

para a habitação do tipo unifamiliar e raramente direcionado para outras valências (o que pode indiciar que esta é uma preocupação relativamente recente).

A informação encontrada sobre o tema é, como referido anteriormente, maioritariamente direcionada para habitação do tipo unifamiliar, sendo escassa a informação sobre edifícios de habitação coletiva, principalmente em Portugal, onde não se encontram exemplos deste tipo de construção, o que, desde já, pode justificar o interesse na abordagem do presente tema. Justifica-se, então, a escolha do tema pela escassez de exemplos deste tipo de construção nomeadamente em Portugal o que poderá contribuir para o enriquecimento do conhecimento em Arquitetura no geral e devido ao tempo em que nos encontramos, em que questões ligadas à sustentabilidade e à economia são cada vez mais enfatizadas.

1.4 Metodologia e estrutura do trabalho

Ao longo do processo de recolha de informação gráfica e documental foram visitadas várias bibliotecas, nomeadamente bibliotecas da especialidade, e algumas livrarias com o intuito de recolher dados pertinentes. Outras ferramentas muito úteis neste processo foram os repositórios *on-line* de várias universidades, onde se permite visualizar e/ou fazer *download* de diversas teses.

A fase de investigação decorreu ao longo de três etapas: a primeira etapa foi de trabalho de arquivo, na qual se compilou toda a informação recolhida em livros e noutras fontes consultadas; a segunda etapa correspondeu ao tratamento de dados, onde se procedeu à análise da informação reunida, à seleção dos casos de estudo a examinar e ao processamento da mesma; a terceira e, última fase, correspondeu à síntese conclusiva, onde se apresenta o epílogo da pesquisa e se chegou às conclusões da investigação.

Ao longo da pesquisa efetuada foram encontrados alguns exemplos de edifícios com estrutura de madeira, nomeadamente edifícios de carácter habitacional que puderam servir de base para o estudo a desenvolver. Dentro da amostra recolhida foram selecionados os exemplos mais documentados, sobre os quais foi, naturalmente, possível recolher uma maior quantidade de informação escrita e gráfica.

O presente estudo organiza-se em sete partes, cada uma referente a um capítulo diferente: a primeira parte destina-se à introdução; a segunda parte ao enquadramento histórico e arquitetónico do tema; a terceira parte às especificações técnicas da madeira; a quarta parte aos aspetos arquitetónicos da habitação coletiva em madeira; a quinta parte à apresentação e análise de casos de estudo; a sexta parte à exposição do caso prático; e a sétima e, última parte, às considerações finais.

A primeira parte, designada de introdução, é onde se apresenta o tema de estudo, os objetivos e as motivações que estão por detrás da escolha do tema, assim como a metodologia e estrutura do trabalho.

Na segunda parte, referente à contextualização histórica e arquitetónica, é apresentada a evolução do uso da madeira na construção desde a pré-história e das casas de troncos até às mais recentes estruturas prefabricadas. De seguida, são dados a conhecer os exemplos históricos de construção em madeira em Portugal, caso, nomeadamente das estruturas em gaiola lisboetas e das casas burguesas portuenses. Optou-se, em primeiro lugar por apresentar uma contextualização histórica e arquitetónica da construção em madeira, quer a nível mundial, como nacional, por forma a demonstrar que as potencialidades deste material sempre foram reconhecidas, o que justifica a perduração ao longo dos tempos dos sistemas construtivos associados. Em Portugal, a madeira era também um material de ampla utilização na habitação, pelo que se considera pertinente que esta retome o seu lugar de destaque mas, agora, de forma mais abrangente, uma vez que as características da madeira são agora melhor reconhecidas e, desde logo, de mais fácil execução e

manutenção do que outrora, acabando com antigos estigmas que hoje se sabe não serem bem fundamentados.

Na terceira parte, ou seja, no terceiro capítulo, são apresentadas as vantagens do uso da madeira na construção, fazendo-se a comparação com os materiais concorrentes; são apresentados os diferentes tipos de madeira, as suas características e derivados; e, por último, apresentam-se os diversos tipos de ligação entre peças de madeira, aspeto fundamental desde género de construções.

Neste capítulo apresentam-se as potencialidades da madeira, servindo como justificativa, à semelhança do que se verifica no capítulo anterior, da sua utilização atualmente. Conhecer as suas propriedades é também fundamental porque, quando mais informação se tiver acerca de um determinado material de construção, melhor este será aplicado na prática, resultando num projeto melhor planeado que reflita este género de conhecimentos.

No quarto capítulo é feita uma aproximação às questões mais estéticas do tema e uma contextualização da habitação em madeira na atualidade, abrindo a possibilidade de se poder prever o seu futuro próximo. Porque o presente estudo é, fundamentalmente uma memória descritiva extensiva de um projeto prático, é fundamental que se abordem as questões arquitetónicas do tema, mostrando o que é possível realizar-se atualmente. O capítulo seguinte apresenta-se como uma continuação deste, uma vez que são dadas a conhecer as mais recentes opções construtivas que são, fundamentalmente, protótipos construídos, com os quais foi possível atestar que a construção de habitação coletiva em madeira apresenta grandes vantagens, pelo que se deve continuar a explorar esta valência futuramente, sempre com o objetivo de construir “mais e melhor”, tirando partido dos recursos disponíveis.

No quinto capítulo são apresentados os casos/ sistemas estudados, procedendo-se, à análise individual de cada caso e ao estabelecimento de paralelismos entre os mesmos. Neste capítulo dá-se uma recolha de informações mais práticas, importantes para o desenvolvimento do projeto prático.

O sexto capítulo destina-se à apresentação do caso prático, expondo, para tal as devidas peças escritas e desenhadas que permitam a explicação clara da proposta. Este transfigura-se, aliás, como uma reflexão não só aos casos de estudo apresentados, mas também ao que a história e o conhecimento das suas propriedades físicas e mecânicas permitiram atestar.

Por fim, no sétimo e, último capítulo expõem-se as conclusões e considerações finais alusivas ao tema e à investigação elaborada.

Capítulo 2: Enquadramento histórico e arquitetónico

2.1. A evolução do uso da madeira na habitação

2.1.1. Casas de troncos – “*Loghomes*”

2.1.2. Estruturas em madeira pesadas – “*Heavy Timber*”

2.2.2.1. Sistema Porticado – “*Post & Beam*”

2.2.2.2. Sistema Entramado – “*Timber Frame*”

2.1.3. Estruturas em madeira leve – “*Light Framing*”

2.1.3.1. Estruturas em “*Balloon Framing*”

2.1.3.2. Estruturas em plataforma

2.1.4. Estruturas pré-fabricadas

2.2. O papel da madeira na habitação típica portuguesa

2.2.1. Estruturas em gaiola

2.2.2. Casas burguesas do século XIX

2.2.3. Palheiros

2.2.4. Taipa

2.1. A evolução do uso da madeira na habitação

A madeira, juntamente com a pedra e a terra, representa um dos materiais de construção mais usados desde sempre. Existem inúmeras “provas” da sua utilização pelas civilizações ao longo da História, inclusive Vitruvius, no seu célebre tratado *De Architectura* (27 a. C.) reporta já ao uso da madeira na estrutura.¹ Este representou um material de eleição na construção até meados do século XIX, altura em que se observou uma substituição do mesmo por outros materiais, caso, nomeadamente, do betão e das estruturas metálicas. A sua utilização era distinta consoante a localização. Assim, verificou-se que, nos países mais frios e com abundância de floresta, a madeira constituía o principal material empregue nas construções, compondo a totalidade da sua estrutura; enquanto noutros países, em que a abundância e a qualidade da madeira eram menores, esta se encontrava presente nos elementos horizontais (lajes e pavimentos) e nas coberturas.²

O seu contributo e relação para com a arquitetura é enorme, prova disso é a palavra grega *Architekton*, que na sua origem, significava mestre carpinteiro.³

O uso da madeira na construção remonta ao período neolítico, sendo que os vestígios mais antigos datam de cerca de 5000 a.C., altura em que já se utilizavam troncos cortados na construção de habitações. As mais antigas que se conhecem eram subterrâneas, denominadas por “*pit-houses*”. Caracterizavam-se por ser escavadas abaixo do nível do solo, com paredes de terra, de formato circular ou retangular, em que a cobertura se encontrava apoiada em “troncos dispostos perpendicularmente às paredes” e de forma a permitir a passagem pelo centro da estrutura, através de uma escada (Figura 1). Estas estruturas eram frequentes tanto na América do Norte e América do Sul, como nas regiões europeias dominadas pelos povos anglo-saxónicos⁴.

¹ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 108 “For thousands of years wood has been the most conventional building material along with stone and clay... Vitruvius... author of *De Architectura* (27 BC)... which perhaps is the first written historical record of the use of wood in a structure”

² THOMAS, Herzog. 2001. La Revolución de la madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 1 “En los países fríos y de abundantes bosques, la madera constituía la totalidad de la estructura y, en los países con menor cantidad de madera, la horizontal y de cubierta.”

³ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 44 “Na sua origem a palavra grega *Architekton* significava Mestre Carpinteiro”.

⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 3 “Os vestígios arqueológicos... demonstram que... cerca de 5000 a.C., já se fabricavam construções utilizando troncos de madeira... As primeiras... são as denominadas construções subterrâneas ou “*pit-house*”. Este tipo de habitação é caracterizado por resultar de um processo de escavação estando o seu corpo abaixo do nível do terreno. As paredes... apresentam forma circular ou rectangular e o telhado fica apoiado em troncos sustentados desde as paredes até um conjunto de troncos dispostos perpendicularmente às paredes, e dispostos de forma a deixar uma abertura onde era colocada a escada de acesso ao interior... Este tipo de edificação era habitual na América do Norte e do Sul e nos povos anglo-saxónicos da Europa.”

Os troncos que suportavam as coberturas das “*pit-houses*” representaram o início e consequente aperfeiçoamento das construções em madeira. Em locais como, por exemplo, a Indonésia as construções em madeira atingiram um enorme grau de solidez, aliado a uma estética em particular: habitações em forma de embarcações⁵.

Países como a China e o Japão têm uma forte tradição na construção em madeira, onde se observou ao longo dos séculos, a perduração de um sistema modular na construção dos seus templos, que remonta à dinastia *Sung* (960 – 1270 d.C.). “O sistema consiste numa retícula de colunas de madeira que apoiam sobre um embasamento de pedra e que suportam” a cobertura. A característica mais marcante deste sistema é que na cobertura não existe nenhuma forma triangular, ao contrário do que normalmente se verifica. “Sobre a parte de cima das colunas apoiam-se as vigas principais e sobre estas apoiam-se outras vigas. Perpendicularmente dispõem-se as correias que apoiam sobre os extremos das vigas e, sobre as correias, apoiam-se os elementos que formam a característica pendente curva das coberturas.” “No Japão, grande parte dos edifícios históricos foram construídos recorrendo” ao mesmo sistema, “embora de maneira ligeiramente mais simples”. “A qualidade da carpintaria tradicional japonesa é elevada e destaca-se pelo recurso a sistemas de união e encaixe inovadores, dispensando o uso de ferragens”⁶ (Figura 2).

Na tradição da construção tradicional japonesa destacam-se o Templo *Horyu Ji*, em Nara, considerado a construção em madeira mais antiga do mundo (projeto original de 607 d.C.) (Figura 3) e o Palácio *Katsura*, datado do séc. XVII, em Quioto⁷ (Figura 4).

⁵ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 3 “Os troncos que funcionam como suporte da cobertura foram o ponto de partida para as estruturas de madeira concebidas e aperfeiçoadas durante os anos vindouros... Em alguns locais da Ásia, as habitações demonstravam estéticas impressionantes... No arquipélago da Indonésia, as habitações apresentavam a forma de embarcações...”

⁶ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estructuras de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 6 “La técnica de construcción tradicional en China constituye un ejemplo notable de la perduración de un sofisticado sistema de construcción modular en madera, que se desarrolló en tiempos de la dinastía Sung (960-1270) ... El sistema consiste en una retícula de columnas que apoyan sobre grandes basas de piedra y que suportan una cubierta pesada. Lo más característico... es que no existe ninguna forma triangulada. Sobre las cabezas de las columnas se apoyan las vigas principales y sobre ellas descansan biapoyadas otras vigas... En la dirección perpendicular se disponen las correas que apoyan sobre los extremos de las vigas, y sobre las correas apoyan unos pequeños pares que forman la pendiente de la cubierta con el característico perfil curvo... En Japón... gran parte de los edificios históricos fueron construídos siguiendo la técnica constructiva china, pero con una forma ligeramente menos elaborada. La calidad de la carpintería tradicional es muy elevada y destaca el desarrollo de sistemas de unión innovadores sin recurrir al empleo de herrajes.”

⁷ FERRATER, Carlos. 2000. La actualidad del uso de la madera. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11, p. 2

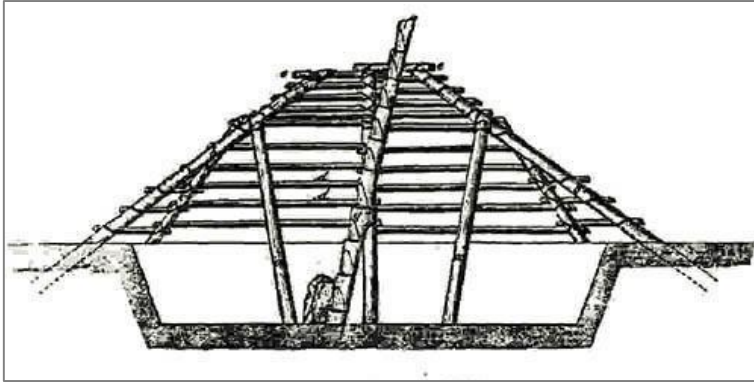


Figura 1: Esquema de uma "Pit House", em corte

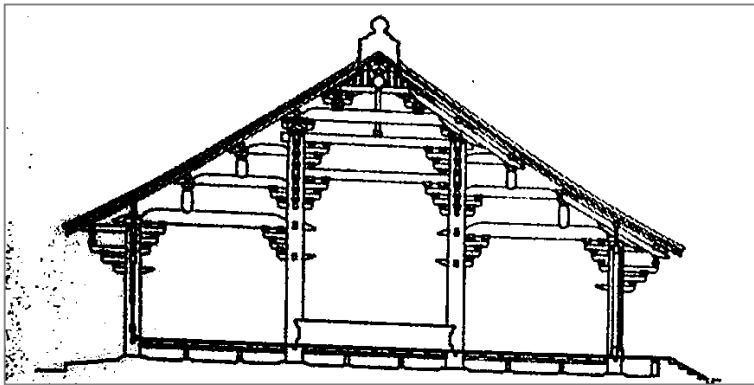


Figura 2: Exemplo de uma construção tradicional japonesa, em corte



Figura 3: Templo de Horyu-Ji, Nara, Japão, 607 d.C.

Já na Europa do Norte e de Leste, a abundância de bosques de coníferas, levou a que a madeira se popularizasse, transfigurando-se como elemento básico da construção. Por exemplo, na Polónia, em Biscupin, foi descoberto um aldeamento construído por casas de troncos e que remonta ao ano 700 a.C.⁸ (Figura 5).

Já na Idade Média, popularizou-se um tipo de construção, o “*Heavy Timber*”, cuja origem remonta ao Neolítico, juntamente com as casas de troncos. Este sistema surgiu na Europa e na China, tendo-se expandido até à América do Norte e sudoeste asiático.

Uma das grandes inovações da construção em madeira que se deu durante o período medieval foi o recurso a “corpos salientes em relação ao plano das paredes” o que possibilita a redução do número de elementos de carga e o desenvolvimento de um método, conhecido como o método Inglês que “consistia na utilização de duas tábuas encurvadas unidas nos extremos por um cavalete e estabilizadas por” uma terceira tábua “colocada ao nível do primeiro piso”.

Os avanços na época foram de tal ordem que na Alta Idade Média já se construíam edifícios com 5 ou 6 pisos de altura, cuja resistência se assemelhava aos construídos em pedra ou em tijolo⁸.

Resultante do desenvolvimento do “*Heavy Timber*” usado na época medieval, desenvolveu-se um novo sistema construtivo: o “*Light Framing*”. Este sistema mais moderno data de finais dos anos 60, na Europa, e no Japão de inícios dos anos 80. Este sistema é constituído por uma estrutura principal de pilares e vigas.⁹

Com o início do século XX e o desenvolvimento industrial observou-se o surgimento de um novo material: o betão armado. Com os avanços da época e através de vários estudos, rapidamente se reconheceram todas as potencialidades deste novo material que permitiu fazer face às exigências tidas na construção de estruturas do início do século. Assim, e desde então, facilmente, o betão foi assumido como o principal material de construção aliado ao desenvolvimento industrial. Este apogeu do betão, levou a que a madeira assumisse um papel secundário na construção, tendo esta, a partir de então, sido usada principalmente na construção de habitações precárias ou anexas. Com o avanço industrial deu-se uma grande migração para o centro das cidades, numa procura da população rural, em encontrar melhores condições de vida.

⁸ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 4-5 “Na Europa, a abundância de bosques de coníferas, a Norte e a Este principalmente, levou a que a madeira desde cedo se convertesse num material básico para a construção. Em 700 a.C., existiu na Polónia, em Biscupin, uma povoação constituída por casas de troncos... na época medieval. Os principais avanços prendem-se com a utilização de corpos salientes em relação ao plano das paredes que permitem a redução dos elementos que suportam as cargas e facilitam a construção, e dum método inglês que permitiu aumentar a dimensão em planta, que consistia na utilização de duas tábuas encurvadas unidas nos extremos por um cavalete e estabilizadas por outra com resistência à tracção colocada ao nível do 1º andar... Os avanços foram tais que, no final da idade média, se construíam edifícios em madeira de 5 ou 6 andares com resistências semelhantes a outros construídos em pedra e tijolo.”

⁹ FERRATER, Carlos. 2000. La actualidad del uso de la madera. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11, p. 2



Figura 4: Aldeamento de casas de troncos de Biscupin, 700 a.C.



Figura 5: Palácio *Katsura*, Quioto, séc. XVII

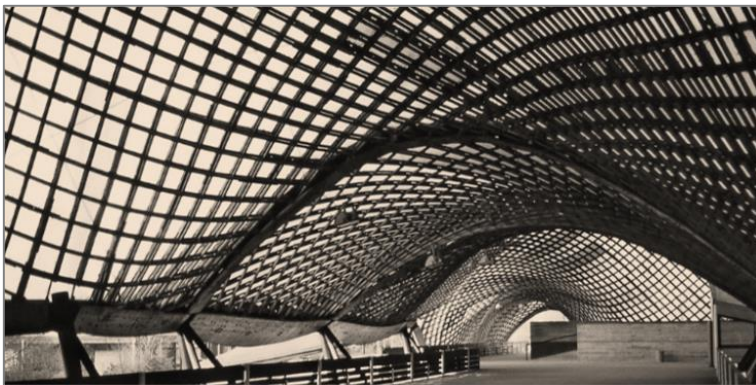


Figura 6: *Bundesgartenschau*, Frei Otto, Mannheim, 1975



Figura 7: Residência de Verão de Albert Einstein, Konrad Washsmann

Assim, para responder ao crescente aumento populacional, proliferaram construções prefabricadas em madeira, devido à sua rapidez de execução. A contenção de custos na construção destas estruturas veio denegrir e conferir noções erradas acerca das propriedades físicas e mecânicas da madeira, pelo que construir em madeira se tornou depreciativo. Este “preconceito” em relação às construções em madeira permaneceu durante décadas, principalmente, em Portugal, uma vez que, em praticamente qualquer parte do mundo se continuou a construir em madeira.

Historicamente, alguns nomes de arquitetos surgem associados ao desenvolvimento “mais recente” da construção em madeira. Um desses nomes “sonantes” é o de Frei Otto, arquiteto responsável pela construção do Bundesgartenschau de Mannheim de 1975 (Figura 6) e o de arquiteto alemão, Konrad Washsmann (1901 – 1980). Das suas obras destaca-se a Residência de Verão projetada para o físico Albert Einstein (Figura 7) e o sistema de construção modular com painéis (General Panel System) (Figura 8) que elaborou em colaboração com Walter Gropius, embora este não tenha tido sucesso suficiente para se impor, na época, à construção em plataforma. Embora “obcecados” com o surgimento de novos materiais como o betão e o aço, alguns dos arquitetos da Era Moderna continuaram a utilizar este material tão nobre, das mais diversas formas, mostrando a polivalência da madeira. Aqui, surgem como exemplo, *Le Petit Cabanon*, de Le Corbusier (1950), em que a madeira se afigura na sua vertente mais rústica, devido ao uso de troncos na sua estrutura, tendo como resultado, uma construção brutalista (Figura 9) e a *Chamberlain Cottage*, de Walter Gropius e Breuer, onde se estabelece um jogo expressivo de opostos: a madeira funciona como uma pele delicada que envolve um dos volumes, ficando o segundo, de estrutura de aço e vidro, à vista¹⁰ (Figura 10).

¹⁰ FERRATER, Carlos. 2000. La actualidad del uso de la madera. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11, p. 2

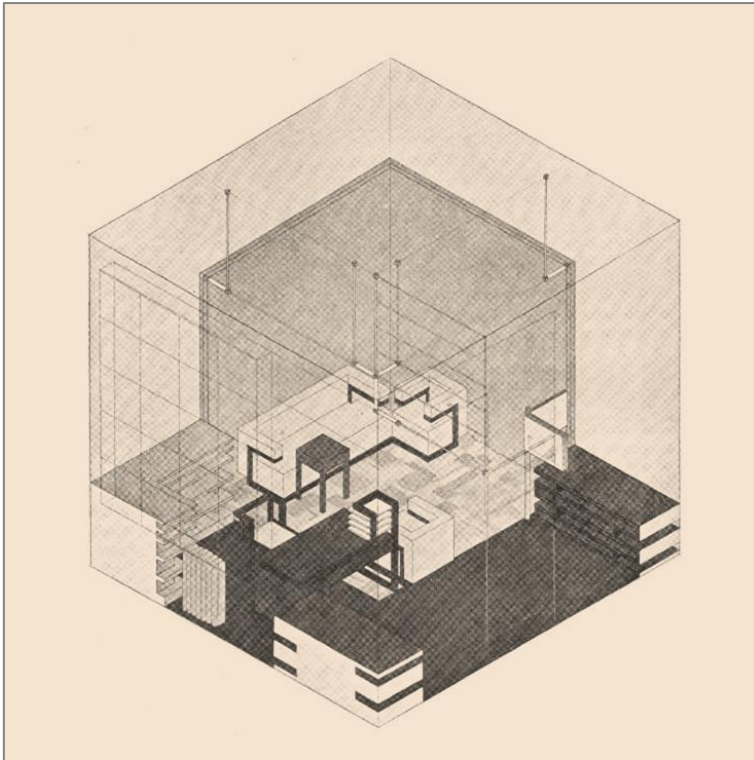


Figura 8: *General Panel System*
K. Washmann e W. Gropius



Figura 9: *Le Petit Cabanon*, Le
Corbusier, 1950



Figura 10: *Chamberlain
Cottage*, Walter Gropius e
Breuer, 1941

2.1.1. Casas de troncos – “Loghomes”

Embora, atualmente seja raramente utilizada, a construção em toros/ cepos representa um dos métodos mais primitivos da História, utilizado, não só em habitação, como em igrejas, pontes, etc. Este tipo de construção caracteriza-se pelos seus cantos, cujos toros de madeira se cruzam para fora da parede o que leva a que, hoje em dia, este método seja utilizado apenas quando se pretende essa imagem característica (Figura 11). Este é o único sistema de construção em madeira que dispensa o uso de revestimentos ou acabamentos.¹¹

É sabido que já a partir do ano 1000 d.C. a construção de casas com troncos, dispostos quer vertical como horizontalmente, era frequente na Escandinávia. Em relação à disposição dos troncos, é notório que a horizontal teve maior sucesso, uma vez que confere maior estabilidade à estrutura. Os principais entraves à disposição horizontal dos troncos prendiam-se à estanquidade da água e à ação horizontal do vento, problemas que se viram solucionados no século XV, com o desenvolvimento das técnicas de serragem e que resultou numa substituição progressiva dos troncos por tábuas ou setores retangulares feitos de troncos cortados.¹²

2.1.2. Estruturas em madeira pesadas – “Heavy Timber”

As estruturas em madeira pesada (Figuras 12 e 13) evoluíram das casas de troncos e do conhecimento das suas fragilidades. Assim, este tipo de estrutura potencializa as características resistentes da madeira, colocando as peças paralelas à direção das fibras e formando estruturas mistas com outros materiais. Este sistema utiliza muros de carga e possibilita a construção de edifícios até 6 andares, permitindo, ainda, a abertura de vãos de maior dimensão. Este método caracteriza-se, ainda, pela total separação entre os elementos que constituem a estrutura e os revestimentos. Assim, é possível a construção da estrutura no local, desde o corte até à montagem o que levou ao surgimento das estruturas prefabricadas.

¹¹ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 109 “Log construction... was used... also for... churches, towers and bridges. Today is rarely used unless there is a desire to obtain the distinct aesthetic... is characterized by its corners...”

¹² TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 5-9 “... na Escandinávia, a presença de casas de madeira com troncos dispostos horizontalmente e verticalmente era frequente a partir do ano 1000 d.C.... a disposição horizontal teve maior aceitação... devido à maior estabilidade estrutural. O principal inconveniente... prende-se com a estanquidade à água e ao vento.”



Figura 11: Exemplo de casa de troncos



Figura 12: Construção de madeira pesada



Figura 13: Exemplo de construção em madeira pesada

O nome porque são conhecidas estas estruturas, “*Heavy Timber*” deve-se ao fato de recorrerem a elementos de madeira com um elevado peso próprio. Estas construções utilizam peças de madeira maciça para os pisos, colunas com dimensão mínima de 20.32 x 20.32 cm e vigas com vãos reduzidos.¹³

2.2.1. Sistema porticado – “*Post & Beam*”

Na construção de estrutura de madeira, os elementos, como pilares, vigas, soleiras, etc., são erguidos em cada piso independentemente. Este representa um método de encaixe manual em que as peças se interligam consecutivamente (Figura 14). Atualmente são usadas, na maior parte dos casos, peças metálicas para fazer a fixação entre os diversos elementos.¹⁴

A estabilidade da estrutura frente aos movimentos horizontais consegue-se mediante a introdução de travamentos diagonais dos montantes com barras de madeira. Os acabamentos exteriores e interiores realizavam-se com o recurso a lâminas de madeira e placas de gesso, não se colocando isolamento, mas sim um cartão grosso que melhora a impermeabilidade da fachada, aspeto importante, já que neste tipo de construção abundam as juntas em seco. No entanto, com o passar dos anos, este sistema foi evoluindo, tendo-se incorporado placas de madeira que atuam como diafragmas em substituição das triangulações, adicionado isolamento térmico e uma barreira de vapor junto ao revestimento exterior.¹⁵

Hoje em dia é pouco utilizado, devido à dificuldade em erigir uma estrutura ereta viável e, devido à rápida propagação de fogo que este método possibilita.

Neste sistema dá-se uma clara separação entre o que é estrutural e o que é revestimento, uma vez que estas estruturas são constituídas por uma série de pórticos que formam um conjunto autoportante. As vigas e pilares apresentam grande expressão, o que permite a abertura de grandes vãos. A rigidez dos pórticos é obtida através da peça diagonal que funciona como contraforte. Esta solução impulsionou o desenvolvimento da indústria dos derivados de madeira devido à sua versatilidade em termos de revestimentos e acabamentos. O desenvolvimento de programas de

¹³ PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 56 “As construções de madeira maciça... utilizam... peças robustas de madeira maciça; colunas com... (20.32 x 20.32 cm); vigas com vãos relativamente curtos...”

¹⁴ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 109 “Timber frame construction is built story by story with sills, posts, beams, and struts erected at each level... Today steel connectors are oftentimes used...”

¹⁵ AVELLANEDA, Jaime. 2000. La construcción en madera hoy. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11, p. 6

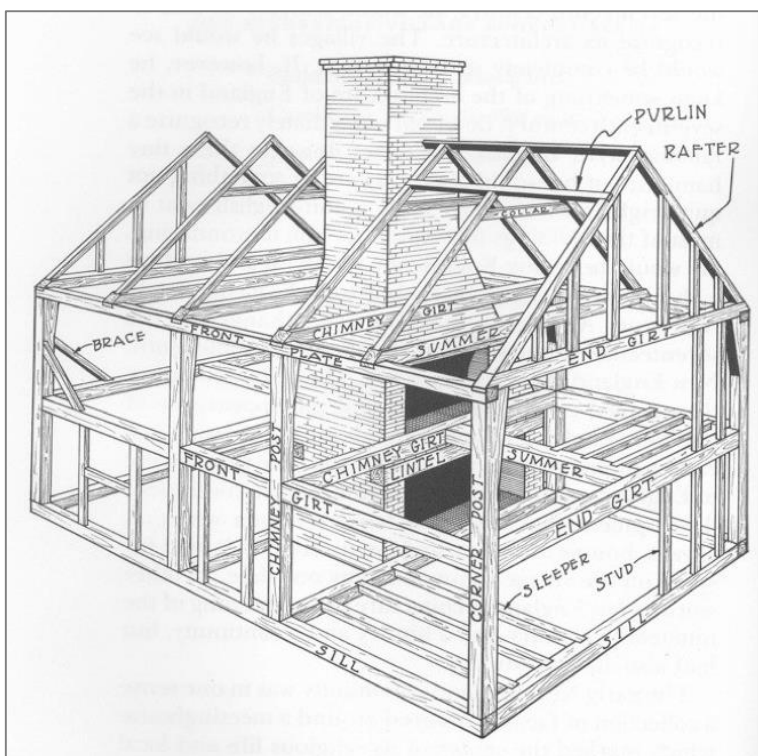


Figura 14: Esquema de estrutura de sistema porticado

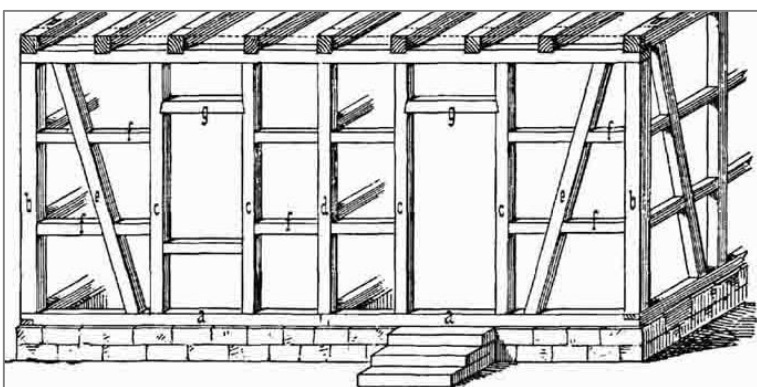


Figura 15: Sistema entramado

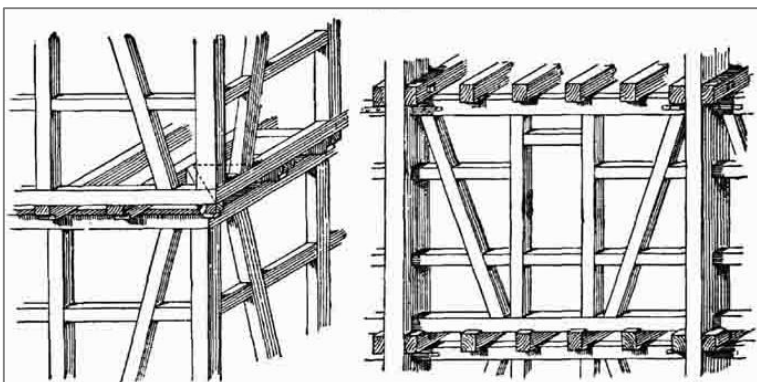


Figura 16: Sistema entramado (detalhes)

desenho assistido por computador também veio beneficiar este sistema pela facilidade que trouxe em representar as estruturas e respetivos pormenores.¹⁶

2.2.2.2. Sistema entramado – “*Timber Frame*”

O sistema entramado surgiu como uma derivação do sistema porticado e varia deste devido à introdução de elementos portantes diagonais (Figuras 15 e 16). Cada parede apresenta função estrutural, em que a madeira trabalha na direção das fibras e as ligações entre peças são feitas com recurso a encaixes do tipo macho-fêmea.

Os revestimentos podem ser aplicados de duas formas: preenchendo os espaços vazios da estrutura, deixando a mesma à vista ou colocados de forma a esconder os elementos estruturais, recorrendo, para isso, a folheados.¹⁷

2.1.3. Estruturas em madeira leve – “*Light Framing*”

As estruturas do tipo “*Light Framing*” surgiram no século XIX, no continente Norte-americano, consequência de fatores como a disponibilidade de produtos normalizados de madeira serrada, elementos metálicos de ligação, caso, nomeadamente, dos pregos, e da necessidade que a população tinha de um sistema construtivo de rápida edificação, recorrente da colonização do ocidente dos Estados Unidos da América.

Este sistema evoluiu, naturalmente, das construções em madeira pesada, e em que a grande inovação se prende com a “introdução de muros e lajes com função estrutural, possibilitando uma noção espacial semelhante às das estruturas atuais em betão armado” (Figuras 17 e 18). O recurso a novos componentes estruturais “permitiu diminuir a largura dos mesmos, uma vez que a carga passou a ser distribuída por um maior número de elementos”.

¹⁶ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 9 “A versatilidade desta solução no que respeita a acabamentos e revestimentos impulsionou o desenvolvimento de soluções baseadas em derivados da madeira... o desenvolvimento deste sistema é facultado pelo aparecimento de programas de desenho assistido por computador (CAD) que facilitava a definição da super-estrutura e respetivos pormenores.”

¹⁷ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 10-11 “Este sistema, estruturalmente, varia do anterior... pela introdução de elementos portantes diagonais... cada parede funciona como um muro resistente, onde a madeira trabalha na direção das fibras e as ligações, do tipo macho-fêmea... Os preenchimentos e revestimentos, estão também condicionados sendo que se preenchem os espaços vazios com materiais adequados (madeira, cerâmica), podendo a estrutura ficar visível... ou oculta por revestimentos apropriados (folheados).”

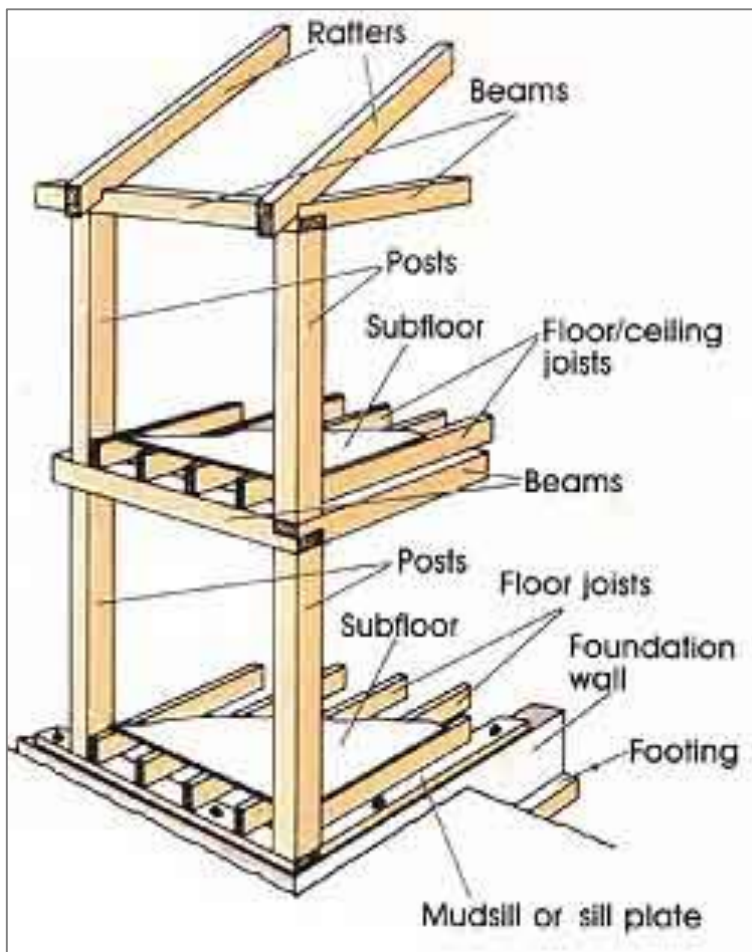


Figura 17: Esquema de construção em estrutura de madeira



Figura 18: Estrutura de madeira leve

As estruturas em “*Light Framing*”, além de permitirem a redução do tempo de construção, como já foi referido, possibilitam também uma diminuição de custos, uma vez que recorrem a ligações mais simplificadas, utilizando quase exclusivamente pregos e cavilhas, dispensando o uso de mão-de-obra altamente qualificada. Esta indústria está intimamente ligada ao desenvolvimento da indústria dos derivados de madeira.

A trama estrutural deste sistema é constituída por elementos de reduzidas dimensões, nomeadamente, 100 x 50 mm, que servem de base de apoio a placas de recobrimento das paredes, pisos e tetos.¹⁸

2.1.3.1. Estruturas em “*Balloon Framing*”

As estruturas do tipo “*Balloon Framing*” (Figura 19) foram as primeiras a surgir no campo das estruturas em madeira leve e devem o seu aparecimento ao engenheiro norte-americano George Washington Snow, em cerca de 1830.

A construção deste tipo caracteriza-se pela utilização de elementos em madeira de pequena esquadria (100 x 50 mm), separados um dos outros cerca de 500 mm, que continuam ao longo de, no máximo, 2 pisos de altura sendo as fachadas, conseqüentemente, executadas com montantes contínuos.¹⁹ “A estrutura do piso é apoiada na viga mestra, que une os montantes na horizontal, conferindo-lhes travamento.” Cada piso “é montado independentemente dos demais servindo de base para a montagem do próximo piso.”²⁰

Neste sistema, as vigas das lajes ligam diretamente aos montantes, sendo o travamento feito com recurso a tábuas transversais, formando conseqüentemente os pisos. Os principais inconvenientes deste tipo de solução correspondem à diminuição da resistência, uma vez que os elementos verticais se prolongam ao longo de mais de um piso;²⁰ no que diz respeito à segurança contra incêndios, uma vez que, como a estrutura é contínua, em caso de incêndio num piso, este consegue propagar-se muito facilmente para o seguinte¹⁹ e, devido à dificuldade no transporte e manuseamento no local da obra, que leva a que seja necessário equipamento mecânico. Todas as desvantagens que acarreta, assim como o seu elevado custo, levam a que este método seja, hoje em dia, raramente utilizado.²¹

¹⁸ PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 56-57

¹⁹ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 110
“*Balloon Framing involves using wood members that continue through two or more stories in height.*”

²⁰ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 12

²¹ BURCHALL, Jim. 1984. *Timber-Frame Housing*. Essex: Construction Press; 6

Balloon Framing

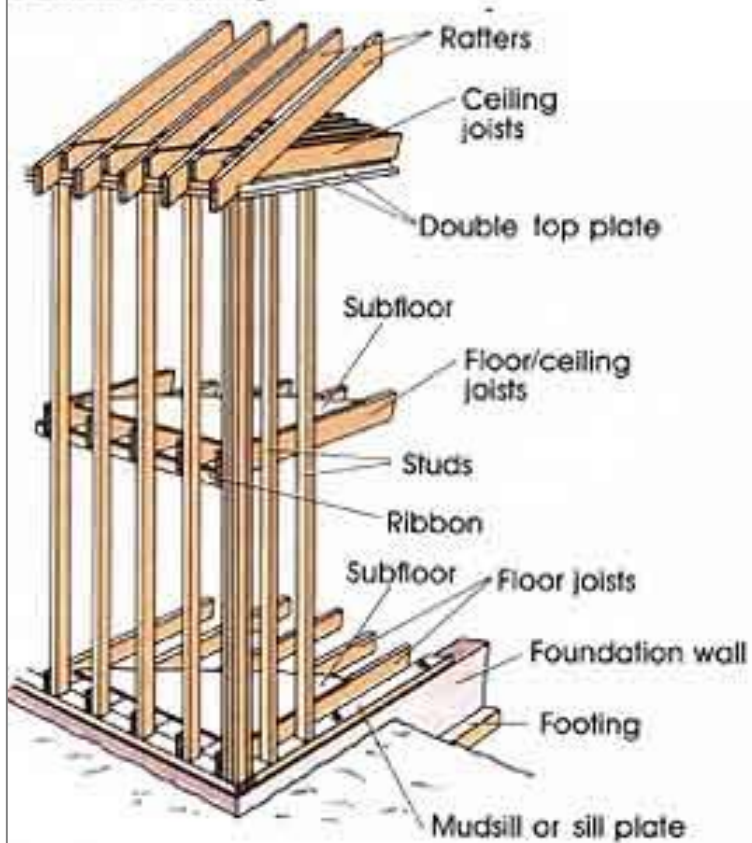


Figura 19: Esquema de construção do tipo "Balloon Framing"

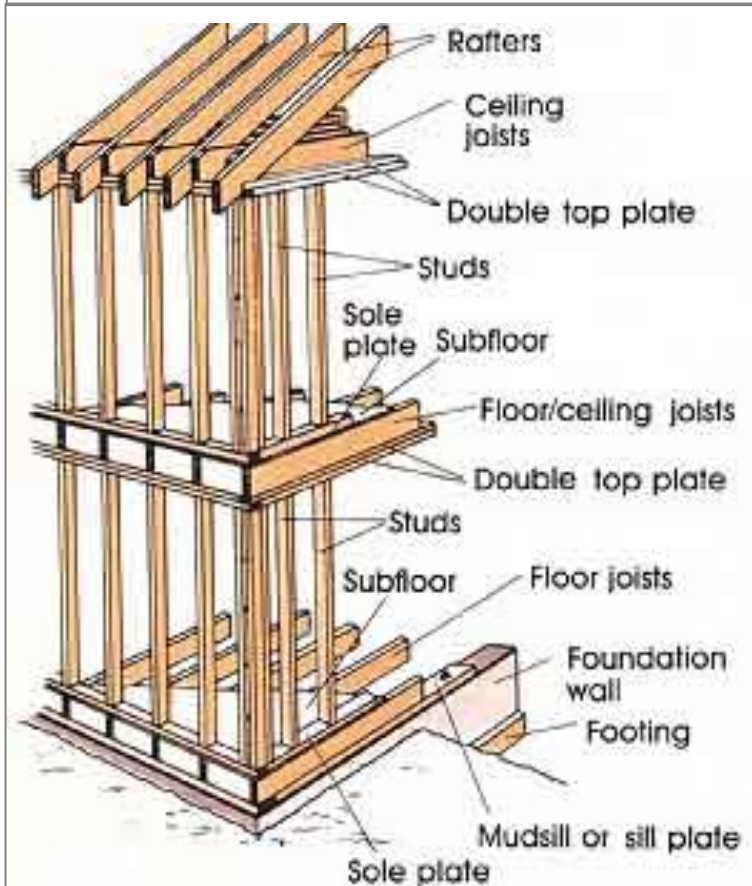


Figura 20: Esquema de construção em plataforma

2.1.3.2. Estruturas em Plataforma

As construções em plataforma surgem consequentes das estruturas em “*Balloon Framing*”, numa tentativa de colmatar as falhas existentes no anterior sistema (Figura 20).

As grandes diferenças que a construção em plataforma apresenta são o facto de ser um método realizado piso por piso, num máximo de 3 andares de altura, e em que as paredes são constituídas por placas duplas de madeira sobre as quais se coloca o acabamento de ambos os lados. É, atualmente, o método mais usado nos Estados Unidos da América, representando cerca de 95 % da construção em madeira.²²

As placas empregues neste sistema permitem uma ligação bastante favorável entre os diferentes componentes da estrutura e permitem, ainda, a fragmentação dos montantes verticais, passando a altura destes a corresponder à altura do piso, ficando, assim, cada nível separado, o que reduz o risco de propagação de incêndio de um piso para os outros. Os pisos assentam diretamente nas referidas placas, uma vez que estas correspondem a estruturas de suporte.

Em relação ao seu antecessor, o sistema em plataforma tem também a vantagem de ser mais acessível e estável, uma vez que os montantes apresentam dimensões mais reduzidas, sendo mais fáceis de encontrar, de transportar e favorecendo a utilização de elementos prefabricados, que representa a evolução natural deste sistema.²³ Apresenta ainda a vantagem de não necessitar de equipamento mecânico para carregar, descarregar ou erguer a estrutura (quando usados elementos prefabricados de pequenas dimensões); possibilidade, fácil e económica, de erguer edifícios altos e sem necessitar de andaimes e, proporciona liberdade total no desenho de plantas e alçados.²⁴ O inconveniente que tem em relação ao seu antecessor é o facto de consumir mais matéria-prima.²⁵

²² BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 110 “Platform framing is a floor by floor process traditionally used for buildings no higher than three stories, and is the most common method... in North America today, accounting for almost 95 per cent of wood construction.”

²³ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 13 “A montagem deste sistema é mais acessível devido à fragmentação de elementos de grande dimensão e ao aumento da estabilidade do sistema...A menor dimensão das peças favorece a utilização da pré-fabricação.”

²⁴ BURCHALL, Jim. 1984. *Timber-Frame Housing*. Essex: Construction Press; 3

²⁵PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 58 “Sistema plataforma... apesar de consumir maior quantidade de madeira que o sistema balão.”

2.1.4. Estruturas Prefabricadas

As estruturas prefabricadas, por definição, são aquelas construídas em fábrica, de forma totalmente integrada, em que as operações, de fábrica e locais, se encontram perfeitamente definidas. A estrutura chega ao local preparada para que de seguida seja apenas necessário proceder a pequenos trabalhos de corte e serragem e à montagem/encaixe dos respetivos elementos que a constituem.

Estas tiveram origem nos países nórdicos, no século XIV, com a Danish Laenge, um dos primeiros exemplares de arquitetura prefabricada modular.²⁶

Estas estruturas podem apresentar três derivações: módulos de pequena dimensão (2,80 m de altura e largura menor que 1,20 m), módulos de grande dimensão (entre 3 m de altura e 6/7 m de largura) e módulos tridimensionais.

A grande vantagem dos módulos de pequena dimensão prende-se ao facto de, uma vez que têm dimensões inferiores, torna-se mais fácil e mais versátil a sua integração em sistema mistos. Os módulos de grande dimensão também apresentam uma vantagem considerável uma vez que estes permitem a abertura de vãos nas fachadas, eliminando os trabalhos associados em obra. Os módulos tridimensionais embora sejam os mais arrojados apresentam mais limitações no que respeita à versatilidade da construção. Hoje em dia, proliferam uma série de empresas no mercado que fabricam módulos tridimensionais com as mais variadas dimensões e em que se prevê a ligação entre diferentes módulos, havendo casos em que cada módulo ou cada série de módulos representa uma divisão da habitação.²⁷

²⁶ PEREIRA, Alexandre Marques. 2008. Treehouse: Uma casa para construir um lugar. *Arquitectura e Vida*, no 97, p. 38

²⁷ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 13-15

2.2. O papel da madeira na habitação portuguesa típica

A tradição da construção em madeira não se afigura tão presente em Portugal como em outros países do mundo. No entanto, a sua presença desde os tempos mais remotos na construção nacional é notória. Esta encontrava-se presente em edifícios de habitação assentes sobre estacaria, nas construções “antissísmicas em gaiola” lisboetas, nas casas burguesas do século XIX portuenses, etc.

2.2.1. Estruturas em gaiola

As gaiolas ou esqueletos são estruturas de madeira, constituídas por um grande número de peças horizontais, verticais e diagonais de madeira, perfeitamente articuladas entre si, formando cruzes de Santo André e de forma a constituir um todo coeso. Estas estruturas devem a sua existência à ação do Marquês de Pombal após o trágico terramoto de Lisboa de 1755 (Figuras 21 - 23).

A madeira, juntamente com a alvenaria de pedra, eram os materiais mais utilizados na época. Após o terramoto, verificou-se que as estruturas em alvenaria se desmoronaram, tendo apresentado uma fraca resistência às ações horizontais resultantes da atividade sísmica, no entanto, foram capazes de resistir aos posteriores incêndios. Já a madeira, demonstrou ter um bom comportamento face às ações sísmicas, muito embora, tenha sido consumida maioritariamente nos fogos que deflagraram.

Assim, e, tendo, também, em conta a experiência naval que existia na época (os navios eram constituídos por uma estrutura em madeira que se mostrava resistente a esforços de tração e compressão semelhantes aos sujeitos pelos edifícios durante a atividade sísmica, absorvendo partes das forças sobre esta atuantes) decidiu-se construir estruturas mistas que aglutinassem a madeira e a alvenaria, tirando partido das vantagens que cada uma possuía individualmente. Deu-se, então, que as paredes começaram a ser constituídas por uma estrutura de madeira – gaiola – embutida nas paredes de alvenaria, de forma a ficar invisível. Estas estruturas foram concebidas para salvaguardar os habitantes das habitações e os seus bens, de tal forma que se manteriam erguidas mesmo quando se desse a queda ou destacamento de partes da alvenaria.²⁸

²⁸ LNEC, A gaiola como génese da construção anti-sísmica, última atualização 22-04-2005
(http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html)

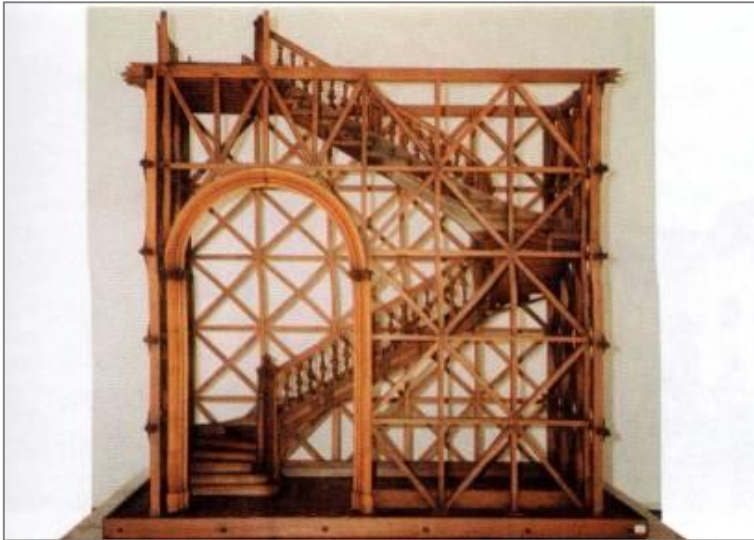


Figura 21: Exemplo de uma estrutura em gaiola

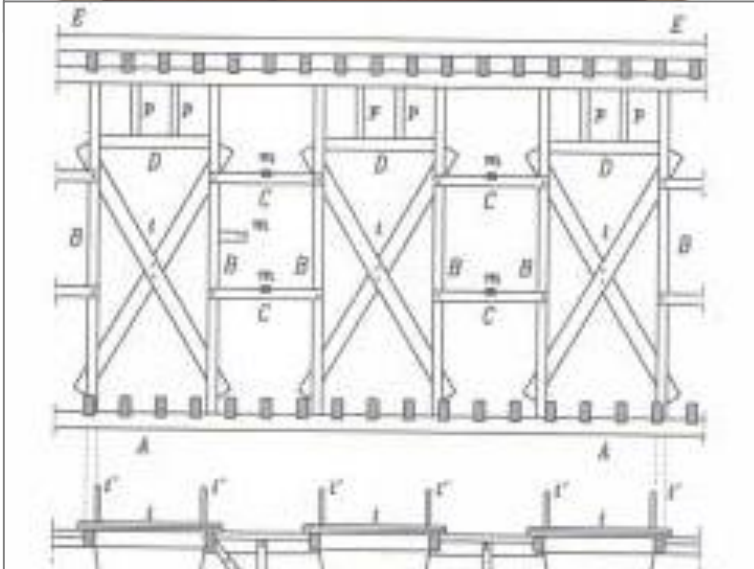


Figura 22: Estrutura em gaiola (detalhe)



Figura 23: Construção antissísmica com recurso a gaiolas de madeira

2.2.2. Casas burguesas do século XIX

Durante o século XIX observou-se o surgimento de uma nova tipologia de habitação na cidade do Porto: a casa burguesa. Esta caracterizava-se por ser comprida (com cerca de 18 m de profundidade) e estreita (cerca de 6 m de largura). A madeira surgia aqui presente nas lajes, e pavimentos, nas coberturas, nas paredes interiores, tetos e nas escadas (Figura 24).

As habitações burguesas assentam sobre sapatas contínuas de alvenaria ordinária de pedra granítica. As paredes resistentes são, também, elas, de granito, constituída por pedras irregulares, assentes sobre argamassa, geralmente de cal e areia. Possuem uma espessura na ordem dos 0,5 m e os vãos são materializados por lintéis de cantaria de granito.

As lajes são constituídas por vigas ou barrotes de madeira, com 0,4 a 0,5 m de diâmetro, espaçadas e tarugadas (para impedir que empenem) perpendicularmente entre si. Os pavimentos são constituídos por soalho de madeira de 0,03 m de espessura, colocado lado a lado com encaixe do tipo macho-fêmea, disposto perpendicularmente ao vigamento e pregado diretamente a este.

As coberturas são de 4 águas, com uma estrutura principal constituída por asnas de madeira simétricas, assentes num frechal sobre as paredes do edifício. O seu revestimento é feito com recurso a telha cerâmica do tipo Marselha ou outro.

As paredes interiores ou divisórias são em tabique, uma técnica de construção com estrutura de tábuas de madeira a prumo travadas com um ripado na horizontal, denominado fasquio. Existem vários tipos de tabique, dentre os quais o tabique de fasquio, de rodízio e do tipo cruz de Santo André. À semelhança das paredes divisórias, os tetos, são constituídos por um fasquiado de madeira, sobre o qual assenta o estuque feito à base de cal e gesso. O fasquiado é pregado diretamente ao vigamento de madeira.

A caixa de escada representa um elemento central na habitação. A sua estrutura (também em tabique de fasquio), revestimento, corrimão, guardas e restantes elementos decorativos são todos de madeira.

2.2.3. Palheiros

Em algumas zonas do litoral, nomeadamente nas praias de Mira, observava-se um tipo de construção em madeira muito característica, denominada de palheiros (Figura 25). Hoje em dia é, ainda possível observar estruturas destas em algumas localidades. Estas construções, que serviam como habitação, assentavam sobre estacaria, com o intuito de não oferecerem obstáculo ao movimento das areias. Mais tarde, com as necessidades crescentes da população, o espaço entre as estacas foi-se cobrindo com pranchas de madeira; originou-se, assim, a casa típica que se

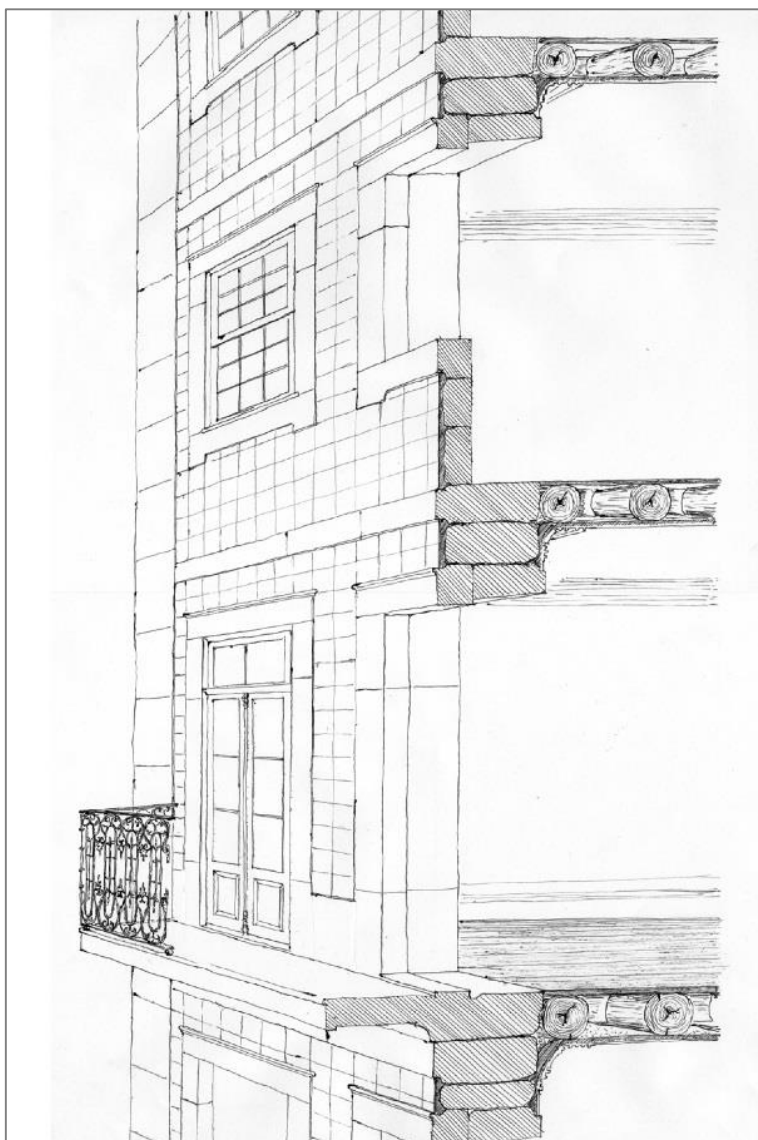


Figura 24: Esquema de casa burguesa do século XIX



Figura 25: Palheiros da Praia de Mira

conhece hoje em dia, que desce até ao solo, com rés-do-chão destinado a arrecadação de utensílios de lavoura e pesca ou de alimentos. O nome como ficaram conhecidas, palheiros, prende-se ao facto de as mesmas, na sua maioria, originalmente serem cobertas com estorno, que se viu ser gradualmente substituído pela telha de canudo. A técnica utilizada na construção das suas paredes, quer interiores como exteriores, apresentava diferentes execuções, sendo as mais frequentes o tabique horizontal e o tabique a prumo.

A técnica de construção do tabique horizontal processava-se da seguinte forma: sobre a estacaria assentava-se o chão em madeira (o piso era elevado, ao qual se acedia com recurso a uma escada de madeira); pregavam-se ao estrado vigas de madeira horizontais e verticais, criando-se uma estrutura de vigas mestras; delimitavam-se os vãos, com a montagem dos aros e das caixas de janela em madeira; e pregavam-se horizontalmente as tábuas, fechando toda a estrutura.

A técnica de construção de tabique a prumo processava-se de forma quase idêntica à horizontal: sobre a estacaria assentava-se o chão em madeira; pregavam-se ao estrado vigas de madeira horizontais e verticais, criando-se uma estrutura de vigas mestras; delimitavam-se os vãos, com a montagem dos aros e das caixas de janela em madeira; pregavam-se verticalmente (a prumo) as tábuas encostadas umas às outras, tapando-se as juntas com ripas, para uma melhor proteção contra ventos e chuva; por fim, as tábuas eram pintadas, de vermelho e azul, e as ripas pintadas de branco.²⁹

2.2.4. Taipa

O termo taipa, originalmente, significava tapume, isto é, divisória de madeira. Este, não tem o mesmo significado em todo o território nacional; no Alentejo, taipa refere-se a paredes de terra batida com suportes para enchimento, os taipais; já no Norte, taipa refere-se a uma técnica construtiva em que os barrotes são empregues para uma estrutura reticular, cujo espaço livre é preenchido com tijolo maciço e argamassa ou barro.

Existem dois tipos de taipa: taipa de fasquio e taipa de rodízio. A taipa de fasquio é uma técnica de construção de paredes, exteriores e interiores, utilizada para andares superiores. Estas, são compostas por uma estrutura de tábuas de madeira, dispostas na vertical, sobre as quais é pregado um segundo plano de tábuas de madeira, na diagonal, sobre o qual é assente um terceiro plano, na horizontal. Podem ser, finalmente, rebocadas, estanhadas ou pintadas. A taipa de rodízio é usada de forma idêntica à de fasquio. Esta é composta por uma estrutura de vigas de madeira bastante flexível, em que o espaço livre é preenchido por tijolo maciço e argamassa, podendo também, receber um acabamento²⁸.

²⁹ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 62-68

Capítulo 3: Especificações técnicas da madeira

3.1. As vantagens do uso da madeira

- 3.1.1. Segurança e estabilidade estrutural
- 3.1.2. Durabilidade
- 3.1.3. Sustentabilidade e impacto ambiental
- 3.1.4. Relação energia-eficiência
- 3.1.5. Relação custos-eficiência
- 3.1.6. Segurança contra incêndios
- 3.1.7. Comportamento térmico
- 3.1.8. Tempos de construção
- 3.1.9. Construção híbrida
- 3.1.10. Resistência química

3.2. Tipos de madeira e derivados – características

- 3.2.1. Madeira maciça *versus* madeira laminada
- 3.2.2. Contraplacados
- 3.2.3. MDF
- 3.2.4. OSB
- 3.2.5. CLT
- 3.2.6. PSL, LSL e LVL
- 3.2.7. FP

3.3. As uniões em estruturas de madeira

- 3.3.1. Uniões tradicionais ou de carpintaria
- 3.3.2. Uniões coladas
- 3.3.3. Uniões mecânicas

3.1. As vantagens do uso da madeira

O interesse pelo uso da madeira na construção deve-se a inúmeros fatores de onde se destaca o seu carácter ecológico, uma vez que este representa um material natural, orgânico, reciclável e o único recurso que o Homem consegue restituir no seu tempo de vida. Assim, a madeira é um recurso regenerável, sendo esta a sua maior qualidade.

3.1.1. Segurança e estabilidade estrutural

A madeira pode-se, desde logo, considerar um material estrutural de origem, ao contrário do que se verifica com outros materiais, caso, por exemplo, do aço e do betão, que necessitam de sofrer um processo de transformação que requiere, além do mais, um maior gasto energético.

As estruturas em madeira representam vantagens desde o seu peso leve, à sua capacidade de carga e ao seu bom comportamento à flexão,¹ constituindo uma boa relação entre peso e resistência. Além da favorável relação peso-resistência, a madeira tem, ainda, a capacidade de “transmitir esforços de tração e de compressão”, fazendo deste, um material particularmente adequado a utilizar em elementos sujeitos a esforços de flexão.² Importante é, ainda, referir que “a tração axial é a característica com maior potencial de utilização, para fins estruturais, que a madeira oferece”.³

As estruturas de madeira apresentam um bom comportamento face a ações sísmicas. No entanto, pode apresentar um comportamento mais débil nas zonas de ligação entre peças, sobretudo tendo em conta os defeitos naturais que este material apresenta, como nós e fendas. De forma à estrutura alcançar um nível aceitável de ductilidade, torna-se necessário pensar bem nos desenhos das uniões. As uniões metálicas, sobretudo as do tipo cavilha (pregos, parafusos, etc.) permitem grandes deformações plásticas dissipando assim a energia libertada aquando do sismo (ver subcapítulo 3.3. As uniões em estruturas de madeira).

A utilização da madeira tendo em conta estratégias antissísmicas era já habitual na construção tradicional nos países da zona mediterrânea. Assim, dispunham-se peças de madeira

¹ THOMAS, Herzog. 2001. La Revolución de la madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 1 “Las ventajas... de la madera son numerosas.... su buen comportamiento a flexión.”

² MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 1 “Com uma relação peso-resistência muito favorável é um material capaz de transmitir tanto tensões de compressão como de tracção. Consequentemente a madeira é um material naturalmente apropriado para elementos sujeitos a esforços de flexão.”

³ MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 43 “A tracção axial é a característica com maior potencial de utilização, para fins estruturais, que a madeira oferece.”

no interior das paredes de forma a melhorar o seu comportamento perante um sismo ou recorrendo a nós de considerável rigidez com a finalidade de dissipar a energia libertada (ver subcapítulo 2.2.1. Estruturas em gaiola). Uma construção em madeira pode ser considerada antissísmica uma vez que é capaz de suportar a ação de um sismo de intensidade 8 na escala de Richter.⁴ Os edifícios em madeira, por serem mais leves, fortes e flexíveis reduzem a probabilidade de queda da estrutura assim como o perigo de desmoronamento de pesos elevados. A flexibilidade da madeira permite que a estrutura se deforme e flita momentaneamente em resposta aos esforços sísmicos sem quebrar, colapsar ou desconectar-se (Tabela 1). As estruturas em madeira possuem um grande número de elementos e de componentes de ligação o que ajuda a manter a estrutura coesa. Acresce que, o amortecimento de uma estrutura metálica é baixo, de uma estrutura em betão ou em tijolo é alto, mas o amortecimento de uma estrutura em madeira consegue ser muito superior.⁵

A ação do vento torna-se de maior relevância nas estruturas de madeira uma vez que estas apresentam um menor peso próprio, em comparação com outros materiais. Por forma a precaver esta ação torna-se necessário articular as uniões de forma a melhorar a estabilidade da estrutura, de forma idêntica ao que acontece nas estruturas metálicas, que consiste na introdução de contraventamentos na cobertura e nas fachadas, com o intuito de transferir as cargas horizontais até ao solo.⁶

A construção em madeira permite, ainda, a reparação e “substituição de elementos deteriorados por outros, sem pôr em causa toda a estrutura da construção”⁷, sendo que as mesmas se procedem de forma simples.⁸ Os novos desenvolvimentos na indústria da madeira permitem já a abertura de grandes vãos e a criação de balanços consideráveis, excluindo alguma vantagem que a construção em betão ou com estruturas metálicas pudesse algum dia ter tido sobre a madeira.

⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 81 “... uma casa de madeira pode resistir a abalos com intensidade de 8 na escala de Richter, sendo considerada como construção anti-sísmica.”

⁵ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 54-56

⁶ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 17 “Asímismo, las uniones tienden a ser articuladas y la estabilidad del conjunto requiere soluciones similares a las que se emplean en la construcción metálica, que consisten en la introducción de arriostramientos en la cubierta y en las fachadas, con la misión de trasladar las cargas horizontales hasta el suelo.”

⁷ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 44 “... este material permite... substituição de elementos deteriorados por outros, sem pôr em causa toda a estrutura da construção.”

⁸ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 14



Figura 26: Beichuan, 100 km a noroeste de Chengdu, depois do terramoto de Wenchuan



Figura 27: Casa com estrutura de madeira que resistiu ao terramoto de Wenchuan com danos mínimos que podem rapidamente ser reparados



Figura 28: Teste sísmico a um edifício de 6 pisos com estrutura de madeira, Japão

SISMO	MAGNITUDE RITCHER (M)	Nº ESTIMADO HAB. MADEIRA	Nº TOTAL DE OCORRÊNCIAS	Nº OCORRÊNCIAS EM HAB. MADEIRA
Alasca, 1964	8.4	-	130	<10
San Fernando, Califórnia, 1971	6.7	00.000	63	4
Loma Prieta, Califórnia, 1989	7.1	50.000	66	0
Northridge, Califórnia, 1994	6.7	200.000	60	16 + 4*
Hyogo-ken Nambu, Japão, 1995	6.8	8.000	6.300	0**

Tabela 1: Número de casualidades em alguns sismos históricos

FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 55

* Número referente a habitações cujo desmoronamento das fundações fez desabar a estrutura

** Número referente a construções do tipo plataforma na área afetada

3.1.2. Durabilidade

Quando desenhadas e executadas corretamente, tendo em conta as condições climatéricas do local onde se inserem, as construções em madeira podem ser muito duráveis. Como prova disso, proliferam inúmeros edifícios com dezenas e até mesmo centenas de anos de existência, como, por exemplo, a igreja em madeira vertical de Urnes, na Noruega, cuja construção atual data de meados do século XII (Figura 29)⁹ e os Pagodes japoneses de 5 pisos de altura de Doigo – ji, o mais antigo de Quito, cuja construção data do ano de 951 d.C.¹⁰ (Figura 30) e o do Mosteiro Búdico de Horyu – ji, datado do ano de 607, considerado, como referido anteriormente, a construção em madeira mais antiga do mundo.¹¹

As construções modernas em madeira podem ser, também, consideradas muito duráveis. Em 2005, por exemplo, cerca de 17% das habitações em madeira norte-americanas tinham mais de 75 anos de idade e, existem, ainda, muito exemplares, quer na América do Norte como na Europa, com idade superior a um século¹² (Gráficos 1-5).

No seu estado natural, a madeira apresenta uma durabilidade menor, no entanto, esta pode ser, significativamente, aumentada com recurso a tratamentos adequados. Algumas empresas de construção em madeira da atualidade, como a IMOWOOD, garantem uma durabilidade de 30 anos e a Empatias garante uma durabilidade na ordem dos 100 anos, o que representa um valor muito considerável visto que é frequente assumir uma durabilidade de 50 anos para os sistemas de construção tradicional.¹³

A durabilidade das construções em madeira depende muito do quanto estas se encontram protegidas de humidade excessiva. Algumas estratégias podem ser tomadas de forma a minimizar este problema, caso, por exemplo, do recurso a coberturas mais inclinadas em zonas muito chuvosas, construção de grandes saliências, colocação de telas impermeabilizantes, etc. O apodrecimento precoce da madeira pode também ser evitado com alguns detalhes de projeto, tais como: evitar pontos de condensação de água; aplicar impermeabilizantes nos encaixes e nos

⁹ UNESCO. 2004. *Património da Humanidade Volume I*. Rio de Mouro: Círculo de Leitores; 102

¹⁰ UNESCO. 2005. *Património da Humanidade Volume V*. Rio de Mouro: Círculo de Leitores; 56

¹¹ UNESCO. 2004. *Património da Humanidade Volume IV*. Rio de Mouro: Círculo de Leitores; 182

¹² EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61 “Many North American and European wood houses are over a hundred years old. In 2005, 17 per cent of the US housing stock was over 75 years old.”

¹³ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 100 “... é costume aceitar-se valores de durabilidade de 50 anos para a construção pesada tradicional e 20 a 30 anos para soluções prefabricadas leves... algumas empresas apresentam... já garantias relevantes... como o caso da IMOWOOD e a Monjolo com 30 anos e a Empatias com 100 anos.”

apoios; utilizar a madeira sempre elevada do solo; deixar espaço livre entre o soalho e o solo para ventilação; e, deixar espaço livre entre o forro e a cobertura, também para ventilação.¹⁴

Intrinsecamente ligadas ao excesso de humidade encontram-se as patologias associadas à ação de fungos e insetos. As madeiras usadas em estruturas apresentam elevada resistência ao ataque de insetos xilófagos (insetos que roem ou se alimentam da madeira), no entanto, quando não tratada devidamente, a madeira pode apodrecer devido à exposição de humidades e sofrer ação de fungos e insetos. Um conteúdo de humidade na madeira acima dos 20 % favorece a ação dos fungos que levam ao apodrecimento da madeira e a atuação de insetos xilófagos como as térmitas e os anóbidos.¹⁵ O perigo de infestação por xilófagos e fungos aumenta consoante aumenta o nível de humidade contida na madeira, assim como com a quantidade de tempo em que a madeira se encontra exposta à mesma (Figuras 33-35). A maneira mais eficaz de evitar este problema é utilizando produtos de madeira seca e garantindo que esta assim se mantenha durante o processo de construção e daí em diante.

A suscetibilidade dos elementos perante este tipo de patologias tem também que ver com o tipo de madeira. Por exemplo, madeiras como o Pau-Brasil e o Cedro são naturalmente resistentes à podridão e aos fungos porque sofrem de extrações químicas que combatem o ataque biológico. Outras madeiras como o Cedro Vermelho e o Cipreste Calvo são naturalmente resistentes à ação de insetos devido aos seus óleos naturais que atuam como conservantes.

Para evitar os problemas causados pelos ataques biológicos à madeira, deve garantir-se que a mesma se mantenha longe do solo, condicionada em lugares ventilados e afastada de qualquer humidade que possa existir. Quando sujeita às intempéries, a madeira deve ser impregnada com conservantes através de um processo de injeção a alta pressão. Existem 3 tipos destes conservantes: conservantes à base de água, conservantes à base de óleos e conservantes à base de creosoto.¹⁶ Embora diferentes, de qualquer um destes produtos se exigem os mesmos requisitos: “elevada toxicidade para os agentes biológicos destruidores”; “permanência na madeira depois de aplicado”; “bom poder de penetração na madeira”; não prejudique as “características físico-mecânicas da madeira”; não possua “efeito corrosivo sobre metais” e não afete a “saúde das pessoas que o aplicam” ou usufruem das peças tratadas.¹⁷

Os conservantes à base de água, além de não conferirem à madeira qualquer tipo de odor, possibilitam que a mesma seja pintada e sem correr o risco de contaminar o ambiente.¹⁶ Apresentam uma permanência na madeira variável, caso o produto possua ou não substâncias fixadoras;

¹⁴ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 16

¹⁵ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 16 “Un contenido de humedad elevado en la madera (por encima del 20%), de manera continuada, permite el desarrollo de los hongos de pudrición, y favorece la actuación de algunos insectos xilófagos como las térmitas y los anóbidos.”

¹⁶ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 110

¹⁷ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 45



Figura 29: Igreja de madeira vertical de Urnes, Noruega, séc. XII



Figura 30: Pagode de *Doigo-ji*, Quito, 951 d.C.



Figura 31: *Barsana Monastery*, complexo de igrejas ortodoxas, onde se localiza a estrutura de madeira mais alta da Europa (56 m), Roménia, 1720

necessita de secagem, após o tratamento; ausência de exsudação depois da madeira seca, que leva a que não haja o risco de manchar rebocos ou estuques; possibilidade de redução da combustibilidade da madeira pelo emprego de substâncias ignífugas no produto. Os conservantes à base de óleos são muito tóxicos e podem alterar a cor da madeira, embora admitam a pintura sobre a mesma.¹⁸ Apresentam “elevada permanência na madeira mesmo em condições” atmosféricas adversas; “tendência para reduzir o risco de fendilhação da madeira tratada quando submetida a alternâncias de secura e humidade”; “fraca ou nula ação corrosiva” sobre metais em contato; “cheiro muito intenso que pode comunicar-se a outros materiais”; “aumento da combustibilidade da madeira pelo menos nos primeiros tempos após o tratamento.”¹⁹ Os conservantes de creosoto ou conservantes com solvente orgânico são, usualmente, utilizados em meios aquáticos. Conferem à madeira uma tonalidade escura, uma superfície oleada e com um forte odor, que prevalece durante um longo período de tempo.¹⁸ Apresentam elevada permanência na madeira, principalmente devido à insolubilidade na água dos seus componentes; elevada penetração no material seco; ausência, em geral, do efeito de inchamento na madeira; ausência de exsudação; ausência de ação corrosiva sobre metais e aumento da combustibilidade da madeira.¹⁹ Por exemplo, em vigas e pavimentos onde se detete a presença de xilófagos, pode usar-se como tratamento preventivo, o “xilofene”. Este consiste em impregnar o pavimento como o referido produto para eliminar ou afastar os insetos. Para prevenir a ação dos xilófagos utiliza-se também a colocação de “capacetes metálicos” nas extremidades das vigas de madeira. Pode, ainda, recorrer-se a “argamassas termiticidas”. Como forma de manter o pavimento protegido da humidade pode utilizar-se um produto hidrorrepelente.²⁰ Na construção em madeira é fundamental a utilização de produtos impermeáveis à água, no entanto, é necessário ter em atenção que os mesmos devem ser permeáveis ao vapor.²¹ Os conservantes atualmente utilizados mostram ser bastante eficazes contra o ataque de insetos xilófagos, uma vez que, mesmo em zonas fortemente ameaçadas, caso, por exemplo, do Havai e do sudeste norte-americano, a construção em madeira continua a ser o método mais adotado.²²

A madeira necessita de manutenção periódica, no entanto, esta pode realizar-se de uma forma simples (o proprietário pode fazê-lo sozinho) e não implicando grandes custos. Os edifícios

¹⁸ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 110
“Creosote preservatives are usually used in marine and saltwater applications. They give the wood a dark-colored, oily surface, and a strong odor that remains for a long period of time... Oil-based preservatives, which are highly toxic, may alter the color of the wood, but can be painted to offset this.”

¹⁹ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 46

²⁰ SANTOS, Arq. João Carlos. 2012. Apontamentos pessoais das aulas de Edificações I. ULP

²¹ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 88 “... é importante a utilização de vedantes que permitam a permeabilidade ao vapor.”

²² EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 61 “Wood frame is the most popular type of residential construction in North America, even for areas like Hawaii and the Southern USA, where decay and insect hazard are severe.”



Figura 32: Casa com 150 anos de idade, Canadá



Figura 33: Patologias num teto em caixotões associadas à humidade na madeira



Figura 34: Patologias num teto do tipo camisa e saia associadas à humidade na madeira



Figura 35: Ação de insetos xilófagos sobre uma porta de madeira (aparecimento de orifícios e poeiras)

em madeira podem, também, ser facilmente renovados e/ou adaptados a novos requerimentos ou exigências. Mesmo depois de terminado o ciclo de vida útil de um edifício, a madeira, pode, ainda ser reciclada, reutilizada ou transformada em combustível. Nos sistemas prefabricados de madeira, geralmente, a manutenção realizada procede-se de 3 em 3 ou de 4 em 4 anos. Esta é realizada, exteriormente, com recurso a jatos de água, e em que, de seguida, se aplicam as devidas novas camadas de acabamento. No interior e, se utilizada adequadamente, a madeira não necessita de cuidados especiais.²³

²³ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 14

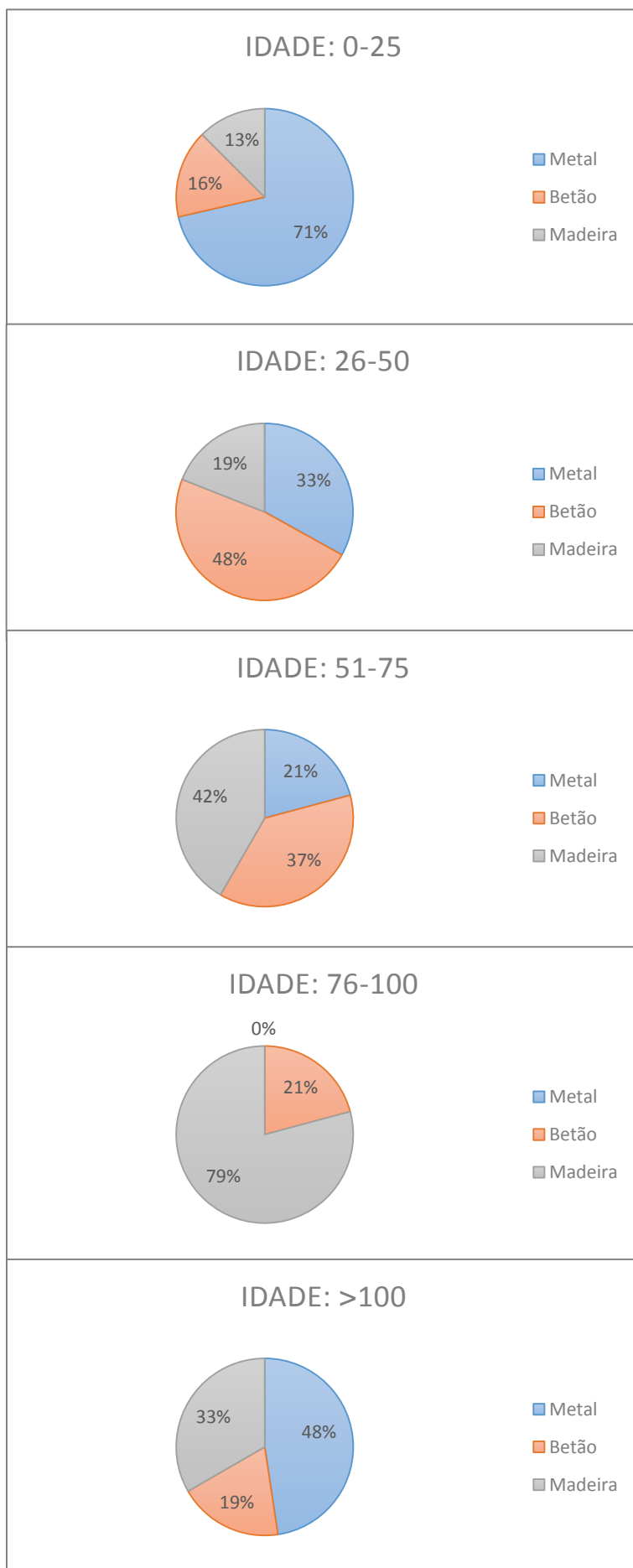


Gráfico 1: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 0 aos 25 anos de idade)

Gráfico 2: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 26 aos 50 anos de idade)

Gráfico 3: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 51 aos 75 anos de idade)

Gráfico 4: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (dos 76 aos 100 anos de idade)

Gráfico 5: Distribuição de edifícios não residenciais pela idade e material estruturante (com idade superior a 100 anos)

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] Strategies for sustainable construction: Building with wood in China. [s.l.]EW & CW; 61

3.1.3. Sustentabilidade e impacto ambiental

O termo sustentabilidade aplicado à construção refere-se ao dever que os construtores devem adotar no recurso a soluções que visam melhorar o desempenho energético-ambiental da estrutura edificada.²⁴ Governações mundiais têm vindo a demonstrar uma preocupação crescente em relação a temas como a reciclagem, os desperdícios e o impacto ambiental dos materiais de construção, assim como, com as emissões energéticas resultantes da produção dos mesmos. Como resultado, têm sido implementados no setor da construção diversos standard, alguns dos quais, chegam a ter carácter de obrigatoriedade.

A madeira é o único material natural e regenerável existente, como já foi referido, sendo, por isso, o material mais ecológico. Os derivados de madeira constituem, também, uma boa opção em termos ambientais uma vez que muitos destes são elaborados com restos e aparas do material de origem, rentabilizando, assim, a sua utilização ao máximo.

As árvores absorvem dióxido de carbono que consomem durante o processo de fotossíntese, reduzindo, assim as quantidades deste gás na atmosfera. Assim, pode considerar-se que o uso de madeira em grande escala na construção pode reduzir os níveis de dióxido de carbono na atmosfera e reduzir as emissões responsáveis pelo efeito de estufa, uma vez que impulsiona a expansão de zonas florestais e leva a uma redução da necessidade da utilização de produtos derivados do petróleo.²⁵

O primeiro passo para se conseguir uma arquitetura ecológica prende-se com a escolha do material a ser utilizado. Substituir outros materiais de construção por madeira resulta numa diminuição das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. A construção em betão, por exemplo, é responsável por 5 % das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. O betão e o metal incorporam mais 57% e 26% de energia em comparação com a madeira, emitem mais 81% e 34% de gases com efeito de estufa, libertam mais 47% e 24% de poluentes no ar, provocam mais 350% e 400% de poluição da água, produzem mais 23% e 8% de resíduos sólidos, e usam mais 81% e 11% de recursos (Gráfico 6). “Uma típica casa de madeira norte-americana captura cerca de 28 toneladas de dióxido de carbono, o equivalente a conduzir um carro de tamanho médio durante sete anos ou a cerca de 12.500 litros de gasolina”.²⁶

²⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 101 “O termo sustentabilidade na construção, está associado à responsabilidade que os construtores devem assumir na procura de soluções que procurem melhorar o desempenho energético-ambiental do meio edificado...”

²⁵ EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 28-32

²⁶ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 26” A typical North American timber-frame home captures about 28 tonnes of carbon dioxide, the equivalent of seven years of driving a mid-size car or about 12,500 liters of gasoline.”

Uma forma de avaliar o impacto ambiental gerado por um edifício é uma ferramenta denominada Life Cycle Assessment (LCA), que, como o próprio nome indica, avalia o ciclo de vida de uma construção. Esta apreciação compreende três fases distintas, sendo que a primeira corresponde à fase de produção, a segunda refere-se à fase de utilização e a terceira e última à fase terminal de vida.

Na primeira fase, ou seja, na fase de produção, são tidos em conta aspetos como a extração dos materiais, a produção, o transporte até ao local e a construção. Primeiramente, a madeira, por ser um material natural, é diretamente retirada da natureza e, de seguida, devidamente tratada e preparada para seguir para a obra. Materiais como o betão e o metal necessitam de ser produzidos industrialmente o que acarreta um maior dispêndio de energia, desencadeando, consequentemente, poluição, quer da água como do ar. Em relação ao transporte, a madeira, volta a sobressair uma vez que pesa menos 70% que o betão, o que implica, também, redução nos custos do transporte. A madeira é considerada o material que menos energia consome no seu processo de produção; esta necessita apenas de água, terra e energia solar.²⁷

Na segunda fase, ou seja, na fase de utilização, são tidos em conta aspetos como a energia despendida, as propriedades térmicas dos materiais e a sua manutenção. Segundo um estudo realizado pela Universidade de Tecnologia de Pequim, a madeira é cerca de 25% superior ao betão e ao metal no que diz respeito à energia total despendida e ao impacto ambiental (Gráfico 7). As construções em madeira emitem, ainda, uma menor quantidade de dióxido de carbono durante o seu tempo de vida o que se considera particularmente relevante quando, atualmente, 2/3 das emissões de dióxido de carbono gerados por um edifício são provenientes desta fase.

A terceira e última é a fase terminal de vida que engloba aspetos como a reciclagem dos materiais, recuperação e eliminação. A madeira sai-se aqui, mais uma vez, vitoriosa em relação aos concorrentes betão e aço. A madeira, ao contrário do betão, pode ser reciclada, em painéis e derivados, pode também, ser facilmente recuperada e reintegrada na construção e, no fim de vida, pode ainda ser transformada em combustível, isto é, em biomassa. O metal pode ser também reciclado mas implica um maior dispêndio de energia do que a madeira.

Conclusivamente e, segundo o LCA, os edifícios construídos em madeira têm um menor impacto ambiental do que o betão e o metal²⁸ (Gráfico 8). O betão e o metal vêm-se, ainda, superados pela madeira em relação à energia gasta; a madeira requer uma quantidade quatro vezes menor de energia do que o betão, 60 vezes menor que o aço e 250 vezes menor que o alumínio,²⁹ em relação à emissão de gases com efeito de estufa e ao lançamento de poluentes no ar e na água, na produção de resíduos sólidos e na facilidade no transporte.

²⁷ PEDRO, Fernanda. 2010. As casas de madeira do século XXI. *Arquitectura & Construção*, no 58, p. 130

²⁸ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 30-32

²⁹ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 102

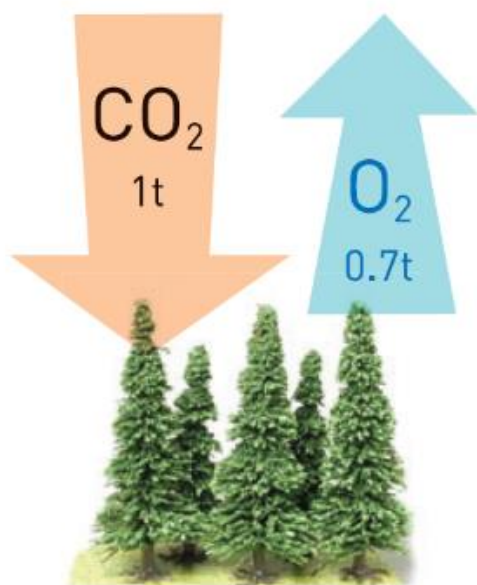


Figura 36: As árvores, durante o processo de fotossíntese, captam dióxido de carbono da atmosfera e libertam oxigénio



Figura 37: Logotipo do FSC, The Forest Stewardship Council



Figura 38: Logotipo do PEFC, The Programme for the Endorsement of Forest Certification



Figura 39: Logotipo da SFI, Sustainable Forestry Initiative

Os derivados da madeira, além de serem diversos, proporcionando uma grande fonte de inspiração, representam também, uma forma muito sustentável de construir,³⁰ diminuindo o impacto sobre o ambiente.

Intrinsecamente ligadas à construção em madeira e às questões ambientais, surgem as florestas sustentáveis. Numa floresta sustentável, garante-se a manutenção ordenada e racionalizada do volume de madeira, garantindo o seu ciclo natural. Assim, de cada vez que é extraída madeira da floresta, esta tem de corresponder, no limite máximo, à massa florestal que a floresta é capaz de produzir anualmente.³¹ As florestas produzem um impacto enorme no ambiente, prova disso é o facto de a desflorestação ser a maior causa de emissões de CO² para a atmosfera. No entanto, a área de floresta está a aumentar um pouco por todo o mundo, principalmente na Europa, na América do Norte e na China. A China possui, aliás, atualmente, a maior área de floresta plantada do mundo (40 % das plantações mundiais), uma vez que a florestação foi a medida adotada para fazer face às alterações climáticas, e como forma de estabilizar os terrenos, reduzindo os deslizamentos de terra, as cheias, e ao mesmo tempo, melhorando a qualidade do ar³². Atualmente, na maioria das florestas temperadas, cresce mais madeira do que aquela que é utilizada, o que significa que os recursos disponíveis são mais do que suficientes.³³ No entanto, no que diz respeito a florestas certificadas, o Canadá sai claramente vencedor (Gráfico 9). São quatro as entidades aceites internacionalmente para certificar florestas: The Forest Stewardship Council (FSC), The Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), Sustainable Forestry Initiative (SFI) e The Canadian Standards Association.³³

A indústria das florestas sustentáveis pode ainda ser considerada uma estratégia governamental para promover postos de trabalho e aumentar os rendimentos das autarquias, principalmente nas zonas mais ruralizadas. Além das vantagens da florestação já referidas, esta também permite a gestão de bacias hidrográficas, refúgio para vida selvagem, proteção de pescas, preservação de fauna e flora, recreação e estética e aumento da economia.³³

³⁰ VIDIELLA, Àlex Sançhéz. 2012. *Arquitectura com madeira*. Barcelona: LOFT Publications; 9

³¹ PEDRO, Fernanda. 2010. As casas de madeira do século XXI. *Arquitectura & Construção*, no 58, p. 130

³² EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 64-71

³³ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 12

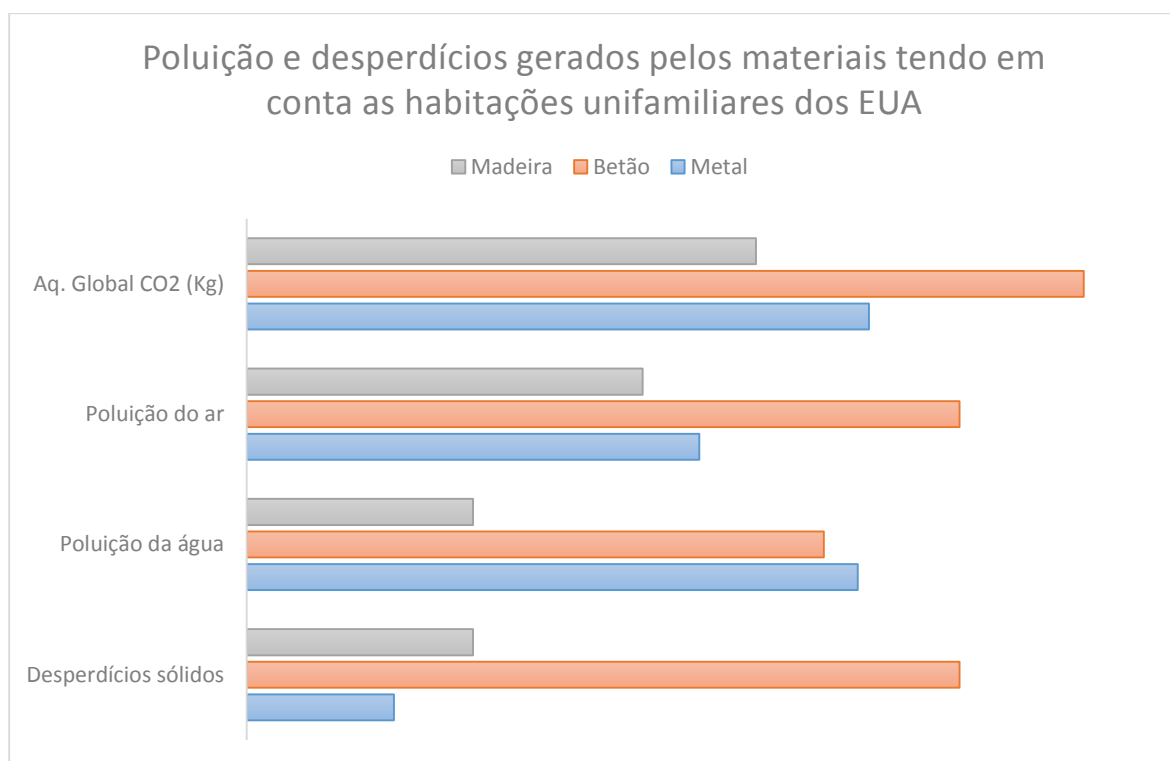


Gráfico 6: Poluição e desperdícios gerados pelos materiais tendo em conta as habitações unifamiliares dos EUA
 FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 36

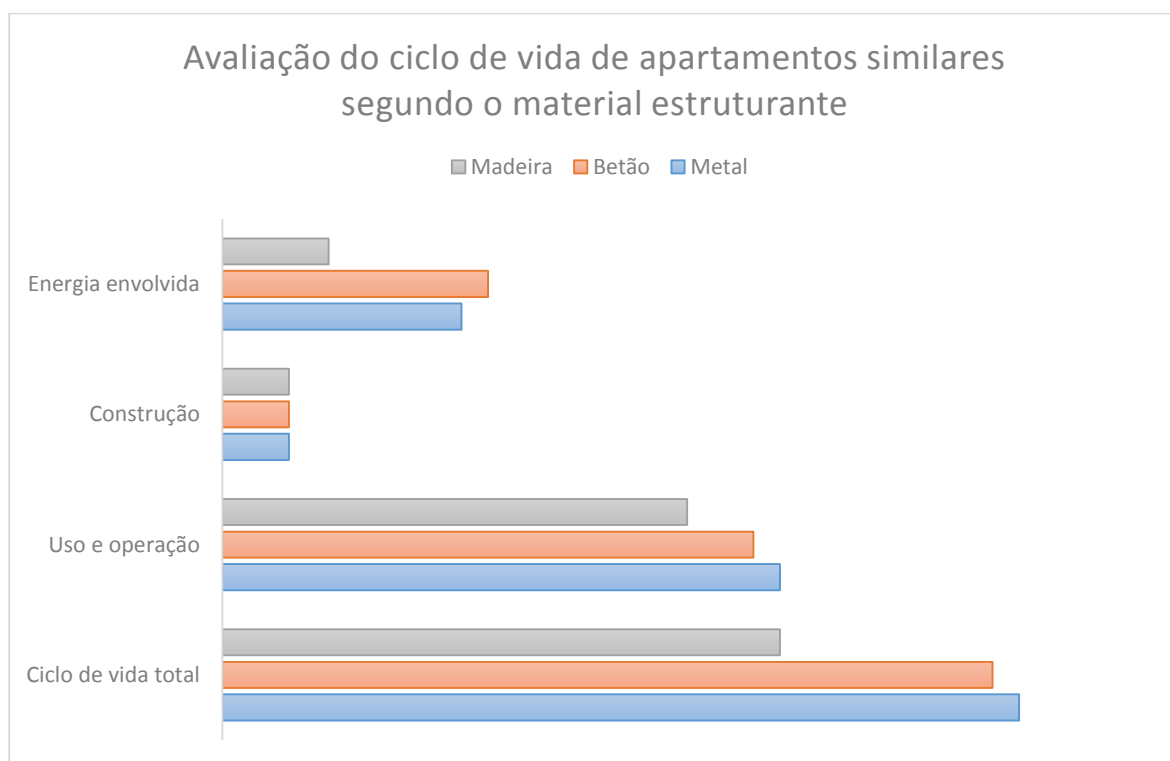


Gráfico 7: Avaliação do ciclo de vida de apartamentos similares segundo o material estruturante
 FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 37

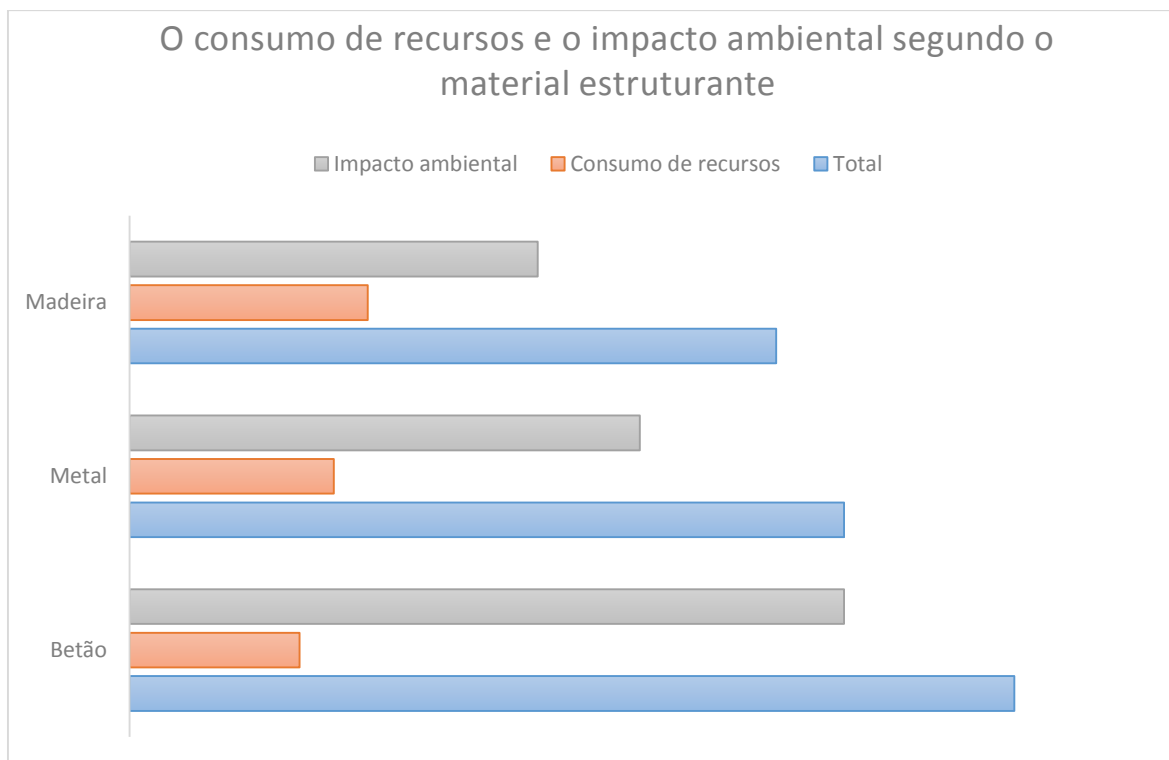


Gráfico 8: O consumo de recursos e o impacto ambiental segundo o material estruturante

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 37

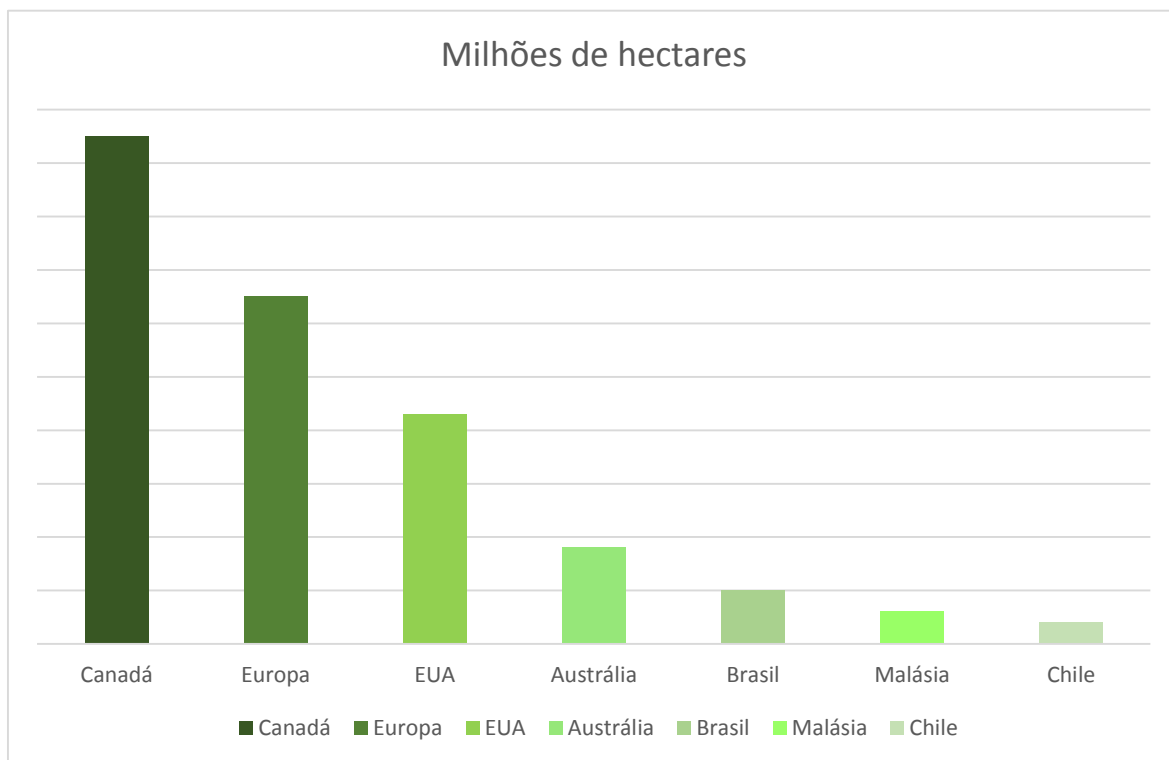


Gráfico 9: Distribuição de florestas certificadas a nível mundial

FONTE: EUROPEN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 71

3.1.4. Relação energia-eficiência

Os edifícios em madeira possuem uma produção eficiente em termos energéticos, isto é, a sua produção e elaboração dão-se com um dispêndio mínimo de energia fóssil. Construir em madeira, devido à sua baixa condutividade térmica, economia e isolamento térmico (ver subcapítulo 3.1.7) resulta numa boa relação energia-eficiência. A relação energia-eficiência das estruturas em madeira tem, ainda a vantagem de ser considerada, geralmente, benéfica para todos os tipos de clima.

Uma das razões da sua popularidade (cerca de 70% da construção residencial mundial é de madeira) prende-se, de facto, à sua relação energia-eficiência, que inclui também tempos de construção menores e gera menor quantidade de desperdícios.

Comparando um edifício construído em madeira, com as cavidades da estrutura isoladas e 0.03 m de poliestireno pelo exterior com um edifício em tijolo com poliestireno de 0.06 m, tem-se que, o primeiro possui um coeficiente de transmissão térmica (K) de 0.244, e o segundo, de 0.526. As construções em madeira, portanto, podem reduzir em cerca de 50% o dispêndio energético em relação às construções tradicionais.³⁴

3.1.5. Relação custos-eficiência

A redução de custos tem-se logo desde a fase de recolha e preparação do material. A madeira, sendo um material natural, resulta no menor dispêndio de energia de produção comparativamente ao do betão e do metal que têm de se produzir industrialmente, acarretando, consequentemente, mais gastos.

Durante o tempo de construção, a madeira permite uma redução de custos em relação ao metal. Um estudo realizado no estado norte-americano da Carolina do Norte veio demonstrar que as habitações em madeira poupam cerca de 14% nos custos de construção comparadas a habitações semelhantes construídas com estrutura metálica.³⁵ Durante o tempo de ocupação, a construção em madeira também representa uma opção mais económica uma vez que a sua melhor performance térmica, permite reduzir gastos com aquecimento e arrefecimento, além de que, a escolha por um material que produz um mínimo de poluição se torna, no futuro, uma opção menos dispendiosa.³⁵

³⁴ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 31-49

³⁵ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 16

A construção em madeira na China, por exemplo, que tem vindo aumentar em escala, tem visto os seus custos serem gradualmente reduzidos, resultado da introdução e revisão de códigos e *standards* construtivos, novas metodologias de construção e maior investigação. Mesmo em zonas em que a construção em madeira é praticamente uma novidade, caso, por exemplo, de Taiwan, já foi possível constatar-se que a escolha de madeira em vez de betão leva a uma redução de custos.³⁶ Está provado que, para um mesmo construtor, mesmo género de habitação e mesmo local, a construção em madeira é 9 em cada 10 casos, mais barata do que a construção em alvenaria (Gráfico 10).³⁷

A madeira possui um grande grau de prefabricação, além de garantir um excelente acabamento, o que faz desta, desde logo, um material muito rentável a nível económico.³⁸ Esta representa um material particularmente apto para a prefabricação devido ao seu peso leve aliado à sua excelente capacidade de carga e à facilidade com que permite transformação e tratamento.³⁹

As coberturas realizadas em madeira embora possam ser dispendiosas, são mais acessíveis do que as de betão e, quando aproveitada a área disponível como espaço habitacional (lofts), em relação aos metros quadrados disponíveis (construir em madeira pode, ainda, levar a um

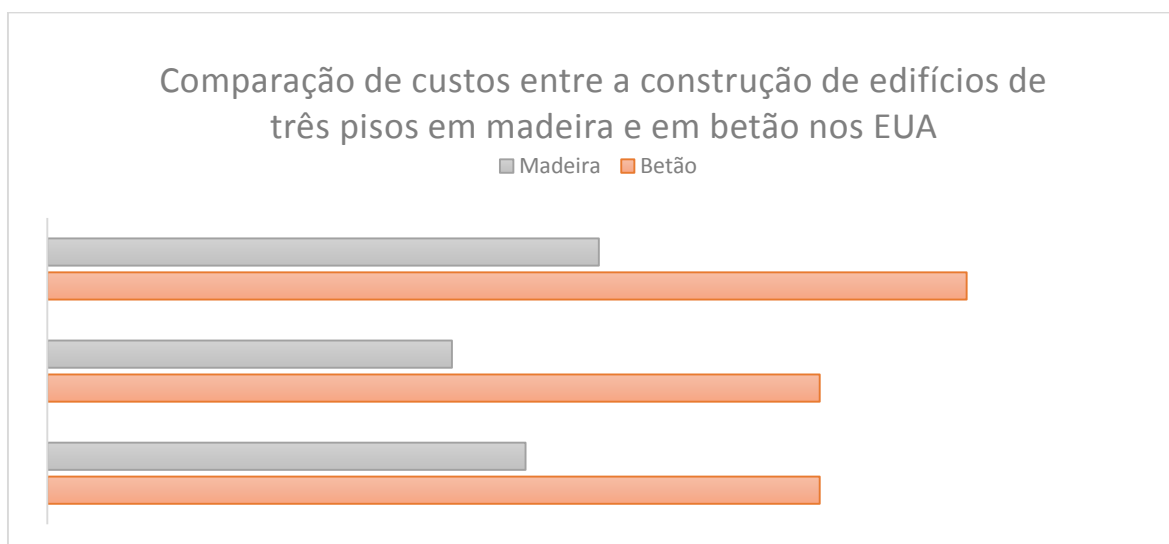


Gráfico 10: Comparação de custos entre a construção de edifícios de três pisos em madeira e em betão nos EUA FONTE: EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 49

³⁶ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 49-51

³⁷ BURCHELL, Jim. 1984. *Timber Frame Housing*. Essex: Construction Press; 84

³⁸ KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 50 "Timber construction also enables a greater degree of prefabrication... and guarantees a high quality finished product."

³⁹ SCHANKULA, Arthur. 2012. Construcción prefabricada en madera. *Detail*, no 6, p. 583 "La madera resulta especialmente para la prefabricación: es ligera, dispone de una excelente capacidad de carga y permite una fácil transformación y tratamiento."

ganho de espaço interior na ordem dos 2 a 5%), a madeira é tida como uma opção mais competitiva que o betão.

A manutenção regular dos edifícios em madeira não significa que este seja um ponto menos positivo a nível económico uma vez que, na construção tradicional, quando se torna necessário recorrer a trabalhos, nomeadamente de reparação, estes implicam custos mais elevados.⁴⁰

3.1.6. Segurança contra incêndios

O risco de incêndio é patente em qualquer construção que se realize. Mesmo em edifícios construídos com materiais incombustíveis, como o betão, o metal ou a alvenaria, o risco de incêndio encontra-se presente. Exemplo disso é o famoso incêndio de 1953 na fábrica da *General Motors*, na Virgínia, Estados Unidos da América, que era tida na época como incombustível (Figura 40).⁴¹

A madeira, apesar de ser um material de reação inflamável⁴² apresenta um comportamento mais favorável, quando sujeita a incêndio, em comparação com materiais como o metal e o betão; esta, antes de entrar em combustão, decompõe-se, primeiro, em gases que, por sua vez, expostos ao calor, se convertem em chamas que, aquecendo a madeira ainda não atingida, “promovem a libertação de mais gases inflamáveis, alimentando a combustão. As peças robustas de madeira, quando expostas ao fogo, formam uma camada superficial de carvão” (Figura 41), que atua como isolante, “impedindo a rápida saída de gases inflamáveis e a propagação”, resultando num aquecimento e degradação do material a uma velocidade menor e, assim, colaborando favoravelmente para melhorar a capacidade de sustentação das cargas da edificação e possibilitando tempo suficiente para se proceder à evacuação do edifício em chamas.⁴³ A camada superficial de carvão que se forma, além de retardar a combustão e o aquecimento do interior do material, pode mesmo levar à extinção do fogo.⁴⁴

⁴⁰ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 108 “...a madeira necessita de uma manutenção mais regular... ao contrário das soluções tradicionais em que as intervenções são já de reparação... traduzindo-se num custo bastante superior.”

⁴¹ PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 5 “...não existe nenhum prédio à prova de fogo... o incêndio ocorrido em 1953 em um dos prédios da empresa General Motors, então considerado incombustível e que ficou totalmente destruído...”

⁴² SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 166 “...a madeira que é um material de reação inflamável...”

⁴³ MADEIRAESTRUTURAL, A Madeira: um Material Resistente ao Fogo, última atualização 13-07-2009 (<http://madeiraestrutural.wordpress.com>)

⁴⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 21



Figura 40: Incêndio de 1953 na fábrica da General Motors



Figura 41: Viga de madeira laminada colada estrutural após teste de resistência ao fogo. A madeira que resistiu ao teste mantém a sua resistência estrutural.



Figura 42: Pilar de madeira carbonizado

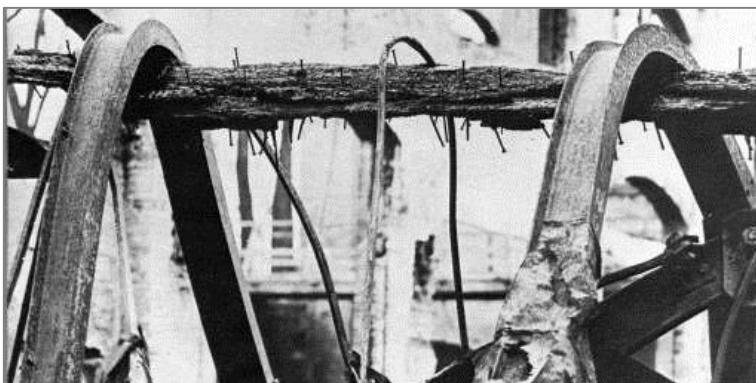


Figura 43: Viga de madeira a sustentar vigas de metal

A reação da madeira ao fogo é bastante diferente da reação do metal ou do betão. Acontece que, quando sujeita à combustão, a madeira reduz gradualmente a secção, não perdendo o seu carácter estrutural (Figura 42), enquanto o aço perde a resistência e a rigidez e o betão armado fragmenta-se. A madeira não oxida ao contrário do que acontece com o metal que, além do mais, quando é sujeito a altas temperaturas pela ocorrência de fogo deforma-se, perdendo a função estrutural (Figura 43), assim como o ferro do betão armado que, se não estiver com o recobrimento adequado, também perde a função estrutural quando submetido a alta temperatura em caso de incêndio (a madeira apresenta um melhor comportamento face a temperaturas mais elevadas já que o betão perde 90% da sua resistência aquando dos 1000° C e o metal perde 50% da sua resistência para temperaturas entre os 500 e os 700° C. Uma viga de madeira e uma viga de betão armado com o mesmo volume apresentam a mesma resistência, sendo, no entanto, a primeira cinco vezes mais leve do que a segunda e, uma viga de madeira e uma de aço com massa que se traduza no mesmo peso para ambas, possuem o mesmo poder de resistência.⁴³

A madeira apresenta um comportamento muito previsível e seguro em relação ao tempo de estabilidade perante o fogo. Sabe-se, nomeadamente, a sua velocidade de carbonização média que é de 0.63 mm/min. O problema está nas uniões entre peças que recorram a encaixes metálicos. Uma estratégia para aumentar o tempo de resistência ao fogo é a proteção e/ou ocultação das uniões metálicas que, se bem, conseguidas, podem fazer a estrutura aguentar-se até aos 60 minutos. É frequente, ainda, recorrer-se a placas de gesso cartonado no interior e a lâ-mineral como isolante térmico, por forma a combater e a retardar a combustão.

A madeira possui, ainda, uma combustão “limpa”, libertando, maioritariamente, dióxido de carbono e vapor de água, enquanto outros materiais de construção libertam maiores quantidades de monóxido de carbono, metano e hidrocarbonetos, gases mais prejudiciais para a saúde.

Como forma de retardar a ação do fogo, a madeira, depois de devidamente preparada, é colocada num vaso de pressão e impregnada com sais químicos que reduzem a sua combustibilidade. Pode também usar-se uma pintura ignífuga, como forma de retardar a combustão. Os produtos ignífugos têm como objetivo retardar a ação do fogo e reduzir os efeitos prejudiciais sobre o material e podem ser aplicados de duas formas: por impregnação ou por recobrimento. No processo de impregnação, são usados sais que aumentam a carbonização da madeira e reduzem a formação de gases. No entanto este processo acarreta algumas consequências: confere ao material um carácter corrosivo, cuja intensidade depende do género e da quantidade de sais utilizados, e leva a lixiviação lenta. Como desvantagem tem ainda o elevado custo do tratamento e encontra-se sujeito a algumas restrições para uso externo. A técnica do recobrimento consiste na aplicação de uma camada na superfície do material que retarda a combustão, impedindo que se atinja a temperatura de ignição e o consequente aumento da velocidade de propagação do incêndio. A utilização deste processo tem como vantagens a redução da probabilidade de alastramento das chamas de até 75 % e poder ser aplicado a edifícios já existentes. Os produtos aplicados no recobrimento podem ser intumescentes ou não intumescentes. Os intumescentes são “recobrimentos orgânicos que sob a ação do calor se expandem, formando uma camada de baixa



Figura 44: As estruturas de madeira proporcionam espaço para a colocação de isolamento



Figura 45: A lâ de rocha, além de isolar termicamente, tem um papel fundamental na segurança contra incêndios, uma vez que é incombustível



Figura 46: Colocação de isolamento mineral (lã de rocha) numa parede de madeira

densidade isolando a madeira das altas temperaturas da chama” e, os não intumescentes são “recobrimentos superficiais que impedem o contato da chama com a madeira”.

3.1.7. Comportamento térmico

A madeira, devido às suas propriedades, é um isolante térmico por si só. Enquanto outras soluções construtivas carecem obrigatoriamente de isolamento, as construções em madeira conseguem atingir valores muito satisfatórios mesmo não recorrendo a isolamento no interior ou no exterior.

A madeira é um isolante muito eficiente porque possui uma estrutura celular que contém bolhas de ar que limitam a sua capacidade de condução de calor. Por seu lado, o aço e o betão, criam pontes térmicas que facilitam a transferência de calor através das paredes de um edifício, o que consequentemente aumenta, ainda, o consumo de energia para aquecimento do edifício.

As construções em madeira são muito mais fáceis de isolar termicamente do que as tradicionais. Estas proporcionam espaço para isolamentos fibrosos (Figura 44), que representam o meio mais económico para garantir uma melhor isolamento, uma vez que é conduzido com um esforço laboral adicional mínimo, pouco material despendido e proporciona retornos quer térmica como energeticamente. A aplicação de isolamento mineral (Figura 46) é, aliás, um standard na construção em madeira. As construções metálicas, à semelhança das de madeira, possibilitam

também a introdução de isolamento nas suas cavidades. No entanto, a sua condutividade térmica é fraca, sendo necessários medidas e trabalhos adicionais para reduzir as perdas de energia.⁵⁴

A grande diferença que a construção em madeira apresenta termicamente em comparação com outros sistemas construtivos prende-se às suas características. A madeira, por apresentar valores muito favoráveis de difusividade e efusividade, permite um maior conforto térmico ao toque, que se concretiza numa sensação de choque térmico mais ténue. A madeira apresenta, ainda, um valor de condutividade térmica muito reduzido, o que faz desta, um material com excelentes propriedades térmicas. A condutividade térmica da madeira é cerca de seis vezes inferior à do tijolo e quinze vezes inferior à do betão.

Os sistemas prefabricados, originários de países com reduzidas temperaturas, potenciam as características térmicas da madeira ao máximo. Por exemplo, a Lapponia House garante um índice de condutividade térmica (U) de 0.34 W/m².°C, enquanto uma construção tradicional, com parede dupla de 0.15 e 0.11 m, com caixa-de-ar de 0.08 m e poliestireno extrudido de 0.04 m, apresenta um índice de condutividade de 0.47 W/m².°C.

Dentro das construções em madeira, destacam-se, ainda, os sistemas prefabricados constituídos por painéis de grandes dimensões e, onde as pontes térmicas são reduzidas ao máximo, fazendo destas construções ainda melhores exemplos em termos de comportamento térmico.

Relativamente à inércia térmica, a madeira, devido à sua menor massa volumétrica, quando comparada com os sistemas tradicionais, apresenta valores inferiores, o que é um fator importante em dias muito quentes de Verão. Esta pode, no entanto, ser facilmente aumentada pela introdução de materiais que façam aumentar a massa volumétrica da construção e introduzindo elementos como palas e portadas exteriores nas direções solares mais críticas.⁴⁵

3.1.8. Tempos de construção

A construção em madeira traz vantagens na rapidez de fabricação e de execução (montagem rápida) e até mesmo redução de custos. Além da montagem se processar rapidamente, o mesmo acontece, naturalmente, com o desmonte das estruturas.

Comparativamente às construções tradicionais em alvenaria de tijolo, as construções em madeira implicam menor tempo de construção, uma vez que as tradicionais necessitam de um maior número de deslocamentos e de diferentes meios de transporte, pois os materiais envolvidos são bastante distintos. Isto implica um maior número de paragens nos trabalhos e consequente, abrandamento do tempo de construção, além de necessitar de grandes locais de armazenamento nos estaleiros da obra.⁴⁶ Geralmente, nas estruturas de madeira é aplicada construção seca, ou seja, sem recurso a argamassas, o que leva a que não seja despendido tempo à espera que o material seque, reduzindo, consequentemente, o tempo da construção.⁴⁶

Estudos europeus demonstram que a prefabricação pode reduzir mais de 2/3 do tempo de construção comparativamente a outros sistemas.⁴⁷ A empresa austríaca KLH Massivholz GmbH, por exemplo, garante a montagem de uma residência com 150 m² em apenas 12 horas.⁴⁸

3.1.9. Construção híbrida

A madeira apresenta um bom comportamento no caso de soluções mistas, ou seja, apresenta boa integração com outros materiais de construção. Na Europa e na América do Norte

⁴⁵ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 92-101

⁴⁶ BURCHELL, Jim. 1984. *Timber Frame Housing*. Essex: Construction Press; 2

⁴⁷ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 49 "If off-site pre-fabrication is used, construction time can be reduced by as much as two-thirds, compared with other construction types."

⁴⁸ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 101 "... a KLH como exemplo destes melhoramentos. A empresa garante que consegue montar uma moradia com 150 m² em 12 h."

proliferam edifícios em que o betão é usado nos pisos inferiores, destinados a comércio e/ou serviços e, a madeira é usada nos pisos superiores, destinados a habitação (Figura 49). A construção híbrida pode, efetivamente, em muitos casos, ser a opção mais prática e com melhor relação custo-eficiência.

A madeira, combinada com o betão em construções em altura, pode ainda, trazer vantagens a nível de comportamento térmico, menor peso da estrutura e, conseqüente diminuição das fundações, melhor comportamento sísmico e benefícios a nível ambiental. As construções híbridas impulsionam não só a construção nova como a já existente.⁴⁹

Um exemplo de um edifício com construção híbrida, com madeira e betão, é a Life Cycle Tower ONE, na Áustria (ver subcapítulo 5.1.2.1.).

3.1.10. Resistência química

A madeira, “em linhas gerais” apresenta “boa resistência a ataques químicos”.⁵⁰ Esta, apresenta grande resistência a químicos como o sal, a ácidos e a básicos além de, quando tratada adequadamente, resistência ao fogo, ao apodrecimento e à ação de insetos e fungos, como referido anteriormente.⁵¹ Mesmo quando comparada a outros materiais, a madeira surge como sendo mais resistente a ácidos, bases, sais e outros químicos.⁵²

Embora apresente boa resistência face a ataques químicos, a madeira não é, no entanto, imune aos mesmos: por vezes, a ação de ácidos provoca diminuição do peso e da resistência da madeira e a ação de bases leva ao surgimento de manchas brancas no material. O aparecimento das manchas brancas na madeira é devido a uma ação básica forte sofrida sobre a lignina⁵³ que é uma substância química presente nas membranas de certas células vegetais, cuja função é aumentar a sua consistência.⁵⁴

⁴⁹ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 9-17

⁵⁰ SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 28

⁵¹ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 108
“Wood is highly resistant to acids, bases, salts, and other chemicals... wood’s resistance to fire, decay and insect infestation.”

⁵² RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 14

⁵³ SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 29

⁵⁴ DICCIONARIO INFORMAL, Lignina, última atualização 10-02-2008 (<http://www.dicionarioinformal.com.br/lignina/>)
“Substância química que impregna as membranas de certas células vegetais aumentando sua consistência.”



Figura 47: Colocação de painéis prefabricados de madeira num edifício de estrutura de betão



Figura 48: Colocação de painel de parede de madeira num edifício de estrutura de betão



Figura 49 Edifício multifamiliar em madeira construído sobre pisos de betão



Figura 50: Construção de uma cobertura de madeira num edifício de betão

A madeira apresenta, ainda, grande inércia química, isto é, não se deteriora quando colocada em meio corrosivo, fazendo, por isso, deste material ideal para ser aplicado nessas condições.

3.2. Tipos de madeira e derivados – características

A madeira usada na construção é proveniente de dois grandes grupos: Gimnospérmicas e Angiospérmicas. Nas Gimnospérmicas, a classe mais relevante é a das Coníferas, ou Resinosas, também designadas como madeiras brandas (*softwoods*). Nas Angiospérmicas, salientam-se as Dicotiledóneas, ou Folhosas, usualmente designadas como madeiras duras (*hardwoods*). Esta divisão baseia-se, principalmente, em diferenças na estrutura anatômica existente entre as espécies pertencentes aos dois grupos. As madeiras brandas, melhores para uso estrutural, são originais da Europa e do Canadá e as madeiras duras, das regiões tropicais.⁵⁵

As madeiras resinosas, comparativamente às folhosas, apresentam um crescimento mais rápido, são de textura mais suave, logo mais fáceis de trabalhar e as suas sementes encontram-se dentro de cones, daí o nome também lhes atribuído de coníferas.⁵⁶ As espécies mais usadas na construção são o pinheiro manso, o pinheiro bravo, o pinheiro-silvestre, o abeto, o cedro e o cipreste.⁵⁷ As madeiras folhosas são de textura lisa, mais resistentes, a sua folhagem cai no Outono e as suas sementes encontram-se armazenadas no interior de nozes ou frutos.⁶⁸ As espécies mais usadas na construção são o carvalho, o azinheiro, o sobreiro, a faia, o freixo, o castanheiro, o eucalipto e a nogueira.⁶⁹ Como curiosidade tem-se que, o London Design Festival de 2012 teve como tema principal este tipo de madeira, mostrando o seu desenvolvimento, processo de fabricação e as suas possibilidades, nomeadamente no campo do mobiliário.⁵⁸

Anatomicamente e, no seu estado natural, isto é, em troncos, a madeira é constituída por duas partes: o cerne e o borne. O cerne representa a parte mais interna do tronco, o seu núcleo e a madeira que o constitui é mais dura. O cerne só se começa a formar quando a árvore atinge, aproximadamente, os quinze anos de idade. Representa uma zona de boa madeira, onde se depositam resinas (quando a árvore é do tipo resinosa) ou gomas (caso seja folhosa) e, por

⁵⁵ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 65 “Tropical areas mostly produce hardwoods, while areas in the north, such as Europe and Canada produce large quantities of softwoods, which are superior for structural use.”

⁵⁶ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 111 “Most softwoods have spiky leaves or needles and are usually evergreens... coniferous, which means that their seeds are enclosed in cones.”

⁵⁷ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 44-47

⁵⁸ SCHITTICH, Christian. 2012. Editorial. *Detail*, no 2, p. 116 “... the London Design Festival is the result of an elaborated development and fabrication process that, among other things, show cases the possibilities of hardwoods.”

consequente, a água não encontra espaço suficiente para se depositar. O borne representa a zona periférica do tronco, com uma madeira mais mole que, quando em contacto com humidade, pode sofrer a ação de insetos xilófagos.

A madeira apresenta diversas propriedades físicas, de onde se destaca a higroscopicidade, que se define como a capacidade que a madeira apresenta para absorver humidade da atmosfera envolvente e de a perder por evaporação. Para tal contribuem fatores como as condições climáticas, desde a temperatura ambiente à quantidade de humidade existente no ar. Para prevenir os danos causados pela humidade nas construções em madeira devem tomar-se algumas precauções como deixar um espaçamento entre peças para que as mesmas possam aumentar e diminuir de volume, sem prejudicar a obra e, quando em contato com outros materiais que contenham água, deve ser objeto de um tratamento adequado nas zonas de contato, para impedir a madeira de absorver essa humidade.⁵⁹ É importante referir, ainda, que a humidade influencia significativamente a densidade da madeira.⁶⁰ Como características físicas, a madeira apresenta ainda flexibilidade, isto é, capacidade para fletir por ação de forças exercidas sobre si, sem quebrar e durabilidade, ou seja, resistência temporal aos agentes prejudiciais, sem decompor. Apresenta, ainda e, dentro de certos limites, um comportamento elástico, isto é, a sua forma é capaz de se submeter aquando de tensões atuantes e restituir a sua forma original assim que estas sejam removidas.⁶¹ A elasticidade na madeira varia “entre os 2500 e os 17000 N/mm², para a direção axial, e de 300 a 600 N/mm² nas direções radial e tangencial”.⁶²

A madeira é, também, um material ortotrópico, isto é, apresenta comportamentos diferentes consoante a direção do crescimento das fibras. Este crescimento pode proceder-se segundo três eixos: longitudinal, radial e tangencial.⁷² Mecanicamente, a madeira apresenta resistência à compressão, isto é, resistência a forças que tendem a encurtar o seu comprimento; resistência à tração, ou seja, resistência a forças com tendência a estender o seu comprimento; resistência à flexão, tida como a resistência da madeira a forças ao longo do seu comprimento; e dureza, definida como a resistência oferecida pela madeira a forças de penetração.⁶³

⁵⁹ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 45 “Assim, quando aplicada na construção... absorve-la.”

⁶⁰ SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis:Universidade Federal de Santa Catarina; 23-25

⁶¹ MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 4 “A madeira, dentro de certos limites para as ações actuantes, pode ser considerada como um material com comportamento elástico, isto é, assume a sua forma original quando as tensões actuantes são removidas.”

⁶² MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 35

⁶³ MADEIRAESTRUTURAL, última atualização 13-07-2009
(<http://madeiraestrutural.wordpress.com>)

Estruturalmente, a madeira mais usada é a madeira de conífera, caso do Pinho, do Abeto e do Cedro que, em comparação com outras madeiras, são mais abundantes e, conseqüentemente, mais baratas. A madeira é constituída por fibras e células. A direção das fibras, assim como a sua estrutura e composição química, determinam a qualidade da madeira.⁶⁴

Atualmente proliferam no mercado diversos tipos de produtos derivados da madeira. Para estrutura é dado particular ênfase aos elementos de madeira maciça e aos elementos de madeira laminada. O desenvolvimento tecnológico que tem vigorado nas últimas décadas tem ainda feito surgir os mais diversos tipos de produtos, cujo material base é a madeira, caso, por exemplo, das placas de contraplacado, das placas de fibras orientadas (OSB) e das placas de fibras paralelas (PSL).

3.2.1. Madeira maciça versus madeira laminada

Os elementos de madeira maciça são usados principalmente em habitações isoladas e não carecem de conservantes químicos. São originados de árvores coníferas como o Pinho e o Abeto.⁶⁵ Uma característica importante e que lhe confere vantagem em relação aos outros tipos de madeira é a sua grande inércia, o que melhora consideravelmente o isolamento térmico nos meses de Verão. A norma europeia que classifica a madeira maciça é a EN 338 e em Portugal, o LNEC publicou uma norma, a NP 4305 referente à espécie mais comum no solo nacional, o Pinho bravo.

Os elementos de madeira laminada são fabricados a partir da madeira maciça, a qual se submeteu a um processo de transformação mecânico em que todos os defeitos e irregularidade da madeira foram eliminados, originando superfícies lisas. É composta por uma sucessão de folhas de madeira (num mínimo de 3 folhas), cuja espessura geralmente varia entre os 6 e os 33 mm, coladas com resinas e a baixa pressão, em que as placas são colocadas consecutivamente com os veios dispostos perpendicularmente à placa anterior, por forma a originar elementos construtivos mais estáveis.⁷⁷

Ao contrário da maciça, a madeira laminada, quando exposta às intempéries, necessita de tratamento químico à base de produtos oleaginosos, caso de Resinas de urea-formaldeído (UF), Resinas de melanina-urea-formaldeído (MUF), resistentes à água e de base sintética, Resinas de fenol resorcinol (PRF) e de Poliuretano, (PU). As mais usadas atualmente são as Resinas de melanina-urea-formaldeído (MUF) porque apresentam um bom comportamento em situações de incêndio e causam menos danos no meio ambiente.⁶⁶

⁶⁴ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 107
“The basic anatomic structure... determines the strength and technical... type of wood.”

⁶⁵ HUGUES, T.; STEIGER, L.; WEBER. 2007. *Construcción con Madera*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili; 34-36

⁶⁶ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madeira. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 9



Figura 51: Cobertura curva em madeira laminada colada



Figura 52: Teto com vigas curvas de madeira laminada

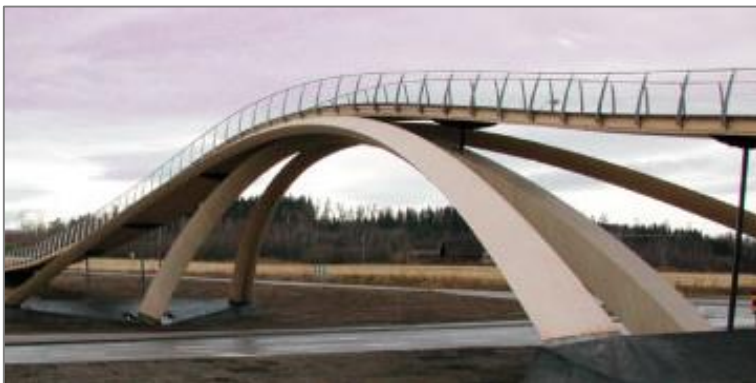


Figura 53: Ponte pedonal em madeira laminada colada



Figura 54: Ponte pedonal em madeira laminada colada do "Lago dei tre comuni", Itália, 2008

A madeira laminada é, muitas vezes, preferível à madeira maciça devido à sua maior resistência, em comparação com a madeira maciça, à sua aparência, à disponibilidade com diferentes dimensões e à sua resistência à água. O desenvolvimento da indústria da madeira laminada permite ainda que esta vença vãos e possibilite formas que o material natural não permitiria (Figuras 51-54).

Os elementos de madeira laminada suportam grandes cargas, além que consomem menos matéria-prima que os elementos de madeira maciça.

A técnica dos lamelados-colados permite ampliar as vantagens da madeira e eliminar defeitos prejudiciais à estética e ao comportamento das estruturas de madeira. Esta possui todas as vantagens da madeira maciça mas com alguns acréscimos: em comparação com as estruturas de madeira feitas com peças maciças, os elementos concebidos em madeira lamelada-colada exigem um menor número de ligações, uma vez que é possível conceber peças de grandes dimensões. Outras vantagens desta sobre a madeira maciça são a possibilidade de obter secções de peças, não limitadas pelas dimensões e geometria do tronco das árvores; possibilidade de obter peças com raio de curvatura reduzido, variável e até mesmo em planos diferentes; possibilidade de vencer grandes vãos livres; eliminação inicial de defeitos naturais, o que permite uma reconstituição que conduz a uma distribuição aleatória dos defeitos residuais, no interior do produto final; melhoria das tensões médias de ruptura e uma redução na dispersão estatística de seus valores. Sob o ponto de vista da “normalização” permite ainda a atribuição aos elementos estruturais de madeira lamelada-colada, de uma tensão admissível ligeiramente superior às da madeira maciça de qualidade equivalente (cerca de 10%); vantagem do prefabrico, o que pode ser traduzido em racionalização da construção e ganho de tempo na montagem da obra; grande qualidade estética, que pode ser largamente explorada pelos arquitetos e engenheiros. A leveza das estruturas oferece, também, maior facilidade de montagem, desmontagem e possibilidade de ampliação, além disso, o peso menor da estrutura, se comparado com outros materiais, pode significar economia nas fundações.⁶⁷

A madeira laminada colada tem, ainda, a vantagem de apresentar um bom comportamento face a incêndios e à “ação de fumos e de emanações corrosivas de produtos químicos”.⁶⁸

A madeira laminada colada apareceu no início do século XX, pelas mãos do alemão Friedrich Otto Hetzer, sendo que em 1901 obteve a sua primeira patente para vigas retas e em 1906 para vigas curvas. Esta foi dada a conhecer na Europa a quando da Exposição Universal de 1910, em Bruxelas. A partir de então popularizou-se um pouco por toda a Europa, em particular na Suíça. Em 1920 já se contabilizavam mais de 200 edifícios construídos com a patente de Hetzer. A Segunda Guerra Mundial (1939 – 1945) teve um papel fundamental para a popularização deste

⁶⁷ MADEIRAESTRUTURAL, última atualização 13-07-2009

(<http://madeiraestrutural.wordpress.com>)

⁶⁸ MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 9

material uma vez que, devido a restrições existentes que limitaram o uso do aço, a madeira afigurou-se como uma alternativa muito oportuna; com ela construíram-se inúmeros edifícios, hangares e até mesmo aviões.⁶⁹

3.2.2. Contraplacados

Em meados do século passado começaram a surgir no mercado produtos derivados da madeira, caso, por exemplo, das placas de contraplacado, de uso estrutural por excelência (Figura 55). Estas permitiram a estabilização das construções mediante o emprego de diafragmas nas paredes, forjados e coberturas, sendo que, anteriormente, era necessário recorrer a peças diagonais para proceder à estabilização da estrutura. Com o recurso a diafragmas verificou-se um melhoramento notável das construções frente às ações horizontais, nomeadamente, do vento e dos sismos.⁷⁰

As placas de contraplacado fabricam-se colando várias folhas de madeira com a direção das fibras perpendicular à folha seguinte. Desta forma, origina-se um material com iguais propriedades mecânicas em todas as direções da placa. São usadas na sua colagem resinas fenólicas ou de resorcina.⁸⁴ São também mais estáveis e resistentes a esforços de flexão em relação à madeira maciça, devido à colocação das várias camadas com as fibras perpendiculares consecutivamente. São constituídas por três elementos: folha (revestimento das placas), alma (interior da placa, mais espesso que as folhas de revestimento) e cola (elemento de fixação entre as diferentes folhas).⁷¹

Os contraplacados apresentam vantagens a nível económico e ambiental uma vez que possibilitam a utilização de aparas e outros desperdícios da madeira, otimizando a utilização do material. Estes caracterizam-se, ainda, por ser recicláveis, flexíveis, incendiáveis e económicos.⁷²

A normativa Europeia, EN 636, diferencia os contraplacados em três classes distintas: Classe 1 – a utilizar em ambiente seco (condições normais de interior), Classe 2 – a utilizar em ambiente húmido (no exterior durante um curto período de tempo, por exemplo, durante a fase de construção) e Classe 3 – a utilizar no exterior (exposição às intempéries de longa duração).⁸⁴

⁶⁹ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 7 “La II Guerra Mundial favoreció enormemente el desarrollo de este producto. Debido a las restricciones que existían para el acero, la madera constituía una alternativa muy oportuna.”

⁷⁰ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 8-12

⁷¹ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 23-24

⁷² MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 14 “O contraplacado é um material que se caracteriza por ser reciclável, flexível, inflamável e barato.”

3.2.3. MDF

Os aglomerados de fibras de média densidade (MDF) são fabricados com fibras de madeira fragmentadas e misturadas com uma resina, segundo um processo termodinâmico. Apresentam superfícies mais lisas e permitem a aplicação de revestimentos diretamente (Figura 56). O MDF apresenta, ainda, boa resistência ao fogo e à humidade, tendo vindo a popularizar-se o seu uso em pavimentos e na construção de mobiliário. As exigências mínimas para cada tipo de utilização dos aglomerados de fibras encontram-se definidas pela Norma EN 622.⁸⁵

3.2.4. OSB

Os aglomerados de partículas longas e orientadas, (OSB) são constituídos por três camadas de madeiras longas, orientadas perpendicularmente umas em relação às outras. Têm grande versatilidade, podendo ser usados com função estrutural, uma vez que garantem uma boa estabilidade e resistência, ou como revestimento (Figura 57). Os OSB são, também, por vezes, utilizados como estabilizador térmico em habitações e são regulamentados pela EN 312.⁷³

Os painéis de OSB são tidos como uma “segunda geração de placas de partículas Waferboard”, em que a diferença mais significativa reside na dimensão das partículas (as placas de OSB são constituídas por “partículas mais longas e estreitas”).⁷⁴

Comparativamente aos aglomerados de partículas ou de fibras, os painéis de OSB apresentam uma “maior resistência mecânica, mas um acabamento mais imperfeito.”⁷⁵

⁷³ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 24

⁷⁴ PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo; 145

⁷⁵ MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 13



Figura 55: Placas de contraplacado



Figura 56: Placas de MDF



Figura 57: Placas de OSB



Figura 58: Placas de CLT

3.2.5. CLT

Os painéis de madeira laminada cruzada (CLT), também denominados de X-Lam, são elaborados a partir de lamelas de madeira de abeto coladas ortogonalmente (Figura 58). Estas lamelas são dispostas segundo uma grelha, nas direções longitudinal e transversal, por forma a reduzir variações dimensionais, empenamentos e, permitindo, transferências de carga unidireccionais (à semelhança do que se verifica nos sistemas que recorrem a vigas e pilares) e bidireccionais (nas lajes). Os painéis de CLT são, ainda, muito versáteis, admitindo diversos tipos de revestimento ou acabamento.

3.2.6. PSL, LSL e LVL

O PSL (Parallel Strand Lumber) é constituído por fibras com 16 mm de largura e 3 mm de espessura, colocadas paralelamente à longitude e aglutinadas com recurso a resinas de fenol-formaldehído (Figura 59). Este apresenta características semelhantes à da madeira laminada, podendo ser utilizado nas mesmas condições, mas com resistência superior à flexão e à compressão. Atualmente é apenas fabricado nos Estados Unidos da América.⁷⁶

O LSL (Laminated Strand Lumber) é constituído por aparas de madeira coladas, alinhadas no sentido original das fibras e pode ser utilizada da mesma forma que a madeira laminada ou os contraplacados (Figura 60).

O LVL (Laminated Veneer Lumber) é constituído por uma série de folhas de madeira finas, colocadas paralelamente entre si e com as fibras na longitudinal, aglutinadas com recurso a resinas (Figura 61).⁷⁷ Pode ser usado para fins estruturais e permite a obtenção de elementos de grande secção transversal e comprimento.⁷⁸ Os painéis de LVL podem ser usados em qualquer área do edifício, desde paredes, pavimentos, caves e coberturas. As suas dimensões vão desde dos 20 metros de comprimento, 2.3 metros de largura e a espessura varia entre os 0.06 a 0.24 m.⁷⁹

⁷⁶ HUGUES, T.; STEIGER, L.; WEBER. 2007. *Construcción con Madera*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili; 44-48

⁷⁷ MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de Estruturas em Madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa; 11

⁷⁸ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 26 “O LVL é um material obtido recorrendo a camadas de madeira finas, aglutinadas com recurso a produto adesivo.”

⁷⁹ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 24



Figura 59: Placas de PSL



Figura 60: Placas de LSL



Figura 61: Placas de LVL



Figura 62: Placas de FP

3.2.7. FP

O FP (Placa de partículas prensadas em plano) é fabricado com recurso a pequenas partículas de madeira ou de materiais fibrosos semelhantes a esta, coladas e prensadas de forma a, preferencialmente, a superfície da placa exibir as partículas alinhadas paralelamente (Figura 62). Estes são particularmente usados como painéis resistentes de reforço para paredes ou coberturas.⁹²

3.3. As uniões em estruturas de madeira

Por uniões em estruturas de madeira entendem-se “todos os dispositivos que asseguram a ligação e a transmissão de esforços entre os elementos” que as constituem. Estas representam um ponto crucial deste tipo de construção pelo que devem ser bem planeadas. As uniões apresentam algumas limitações, por exemplo, a resistência na direção perpendicular às fibras é muito mais baixa do que na paralela, o que origina uma capacidade de transmissão de esforços limitada. Usualmente, os encaixes entre peças de madeira são articulados ou semirrígidos o que torna difícil alcançar uma união perfeitamente rígida. Podem considerar-se três tipos de uniões: de carpintaria, coladas, e mecânicas.⁸⁰ Estas podem ser realizadas individualmente ou em conjunto numa mesma união, por forma a conferir maior solidez à ligação.

Quando se procede a trabalhos de união entre peças de madeira, deve ter-se sempre em atenção que o material aumenta de volume (incha), principalmente quando se tratam de peças de madeira maciça. As ligações entre as peças podem ser separadas (ligações mecânicas) ou unidas permanentemente (ligações coladas).⁸¹

Os esforços entre ligações podem ser transmitidos de três modos distintos: por transmissão direta ou contato direto, por transmissão por justaposição e por transmissão indireta (Figura 63). Na transmissão direta, como o nome indica, os dispositivos não possuem peças intermédias, sendo que a transferência de esforços se processa diretamente entre aos dois componentes da ligação. Os entalhes ou sambladuras são exemplos de esforços de transmissão direta (Figura 64). Na transmissão por justaposição, “existe uma superfície de traspasse comum às peças ligadas” e são executadas com recurso a conectores ou adesivos. E, na transmissão indireta, os esforços são transmitidos através de elementos intermediários metálicos ou através de adesivos.⁹⁶

⁸⁰ SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 131

⁸¹ BOSCH. *O que é necessário saber sobre uniões em madeira*, visitado a 12-09-13

(<http://www.bosch-do-it.com/pt/pt/bricoleiros/conhecimento/dicas-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o/o-que-%C3%A9-necess%C3%A1rio-saber-sobre-uni%C3%B5es-em-madeira-98627.jsp>)

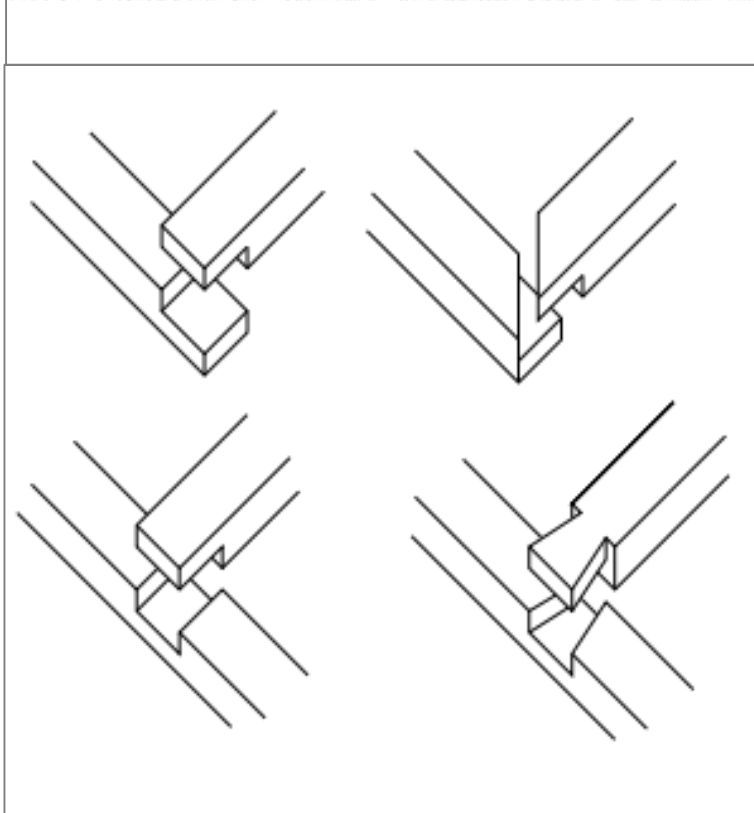
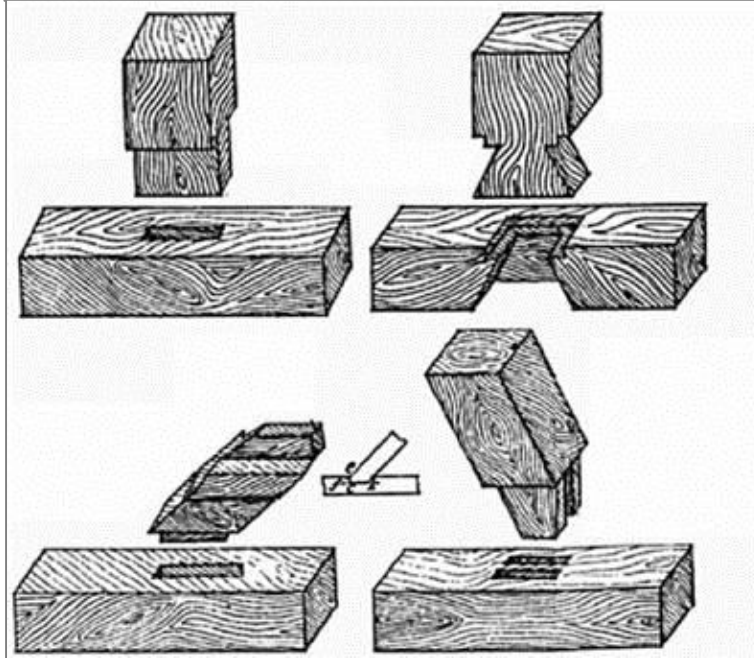
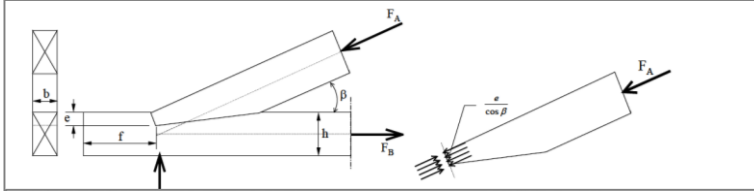
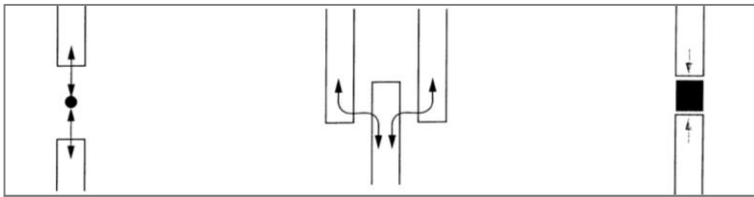


Figura 63: Transmissão direta, transmissão por justaposição e transmissão indireta (da esquerda para a direita)

Figura 64: Exemplo de ligação por entalhe ou sambladura

Figura 65: Exemplos de uniões tradicionais ou de carpintaria

Figura 66: Exemplos de uniões tradicionais ou de carpintaria

3.3.1. Uniãos tradicionais ou de carpintaria

As uniões de carpintaria são aquelas que se dão com recurso a encaixes e montagens seguindo as técnicas tradicionais (Figuras 65 e 66). Os esforços transmitem-se através de compressões localizadas e tensões tangenciais.

Nos últimos anos, as uniões de carpintaria caíram em desuso devido à falta de mão-de-obra qualificada e ao seu custo elevado. No entanto, atualmente, graças à prefabricação assistida por computador, que deu origem a uma maior precisão e uma redução significativa de custos, tem-se vindo a recuperar o seu uso. Este tipo de ligações apresenta uma vantagem em relação às ligações mecânicas na medida em que origina uma maior limpeza nas uniões.⁸²

Dentro das uniões de carpintaria tem-se as realizadas no prolongamento das peças, que podem ser de topo ou por recobrimento. As uniões de topo servem para prolongar uma peça de madeira em comprimento pela união de uma segunda peça, caso, por exemplo, das realizadas nas emendas longitudinais entre tábuas de madeira laminada colada.⁸³ Estas podem ser de quatro modos: emenda de topo, emenda em diagonal, emenda de um dente ou emenda por entalhes múltiplos (Figura 67). Este último tipo aumenta significativamente os custos de produção pelo que, sempre que possível e sem que prejudique a estabilidade da obra, se recorre a emendas de topo ou em diagonal.⁸⁴ As uniões por recobrimento consistem no entalhamento entre duas peças em contato, realizado “de maneira que uma delas recubra a outra, sem diferença de nivelamento”. É importante referir que este tipo de união só deve ser realizado em grandes extensões, por forma a garantir a solidez essencial, “em que é necessário que a superfície de união seja suficientemente grande para compensar o esforço exercido de uma parte sobre a outra, em virtude do comprimento das peças.”⁹⁹

Um exemplo corrente de uniões tradicionais é a ligação entre peças que compõem o soalho de madeira, sendo que os mais conhecidos são o denominado soalho “à inglesa” (Figura 68), em que a ligação entre peças é feita através de encaixes do tipo macho-fêmea, e o soalho “à portuguesa” (Figura 69), em que a ligação entre peças é feita através de encaixes de meia-madeira. Em espiga, cavilha e rabo de andorinha são outros exemplos recorrentes de ligações tradicionais em madeira (Figura 70).

⁸² MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madeira. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 18-20

⁸³ COMO FAZER. *Como fazer uniões de topo*, visitado a 12-09-13
(<http://www.comofazer.org/casa-e-jardim/bricolage/como-fazer-unioes-de-topo/>)

⁸⁴ SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 173 “Como a usinagem desses entalhes onera bastante o custo final do elemento estrutural fabricado em MLC, é possível se pensar em utilizar emendas simplesmente de topo nas regiões onde se sabe que os esforços são praticamente nulos.”

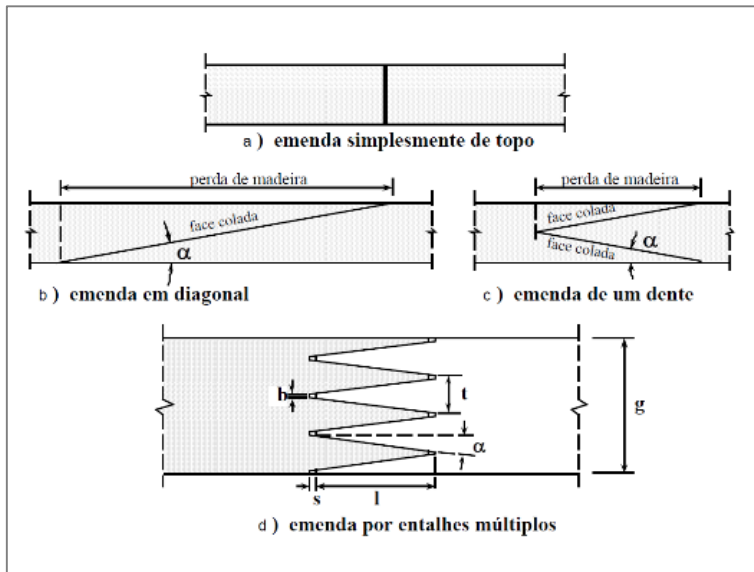


Figura 67: Emendas entre tábuas de madeira laminada

- a) Emenda de topo
- b) Emenda em diagonal
- c) Emenda de um dente
- d) Emenda por entalhes múltiplos

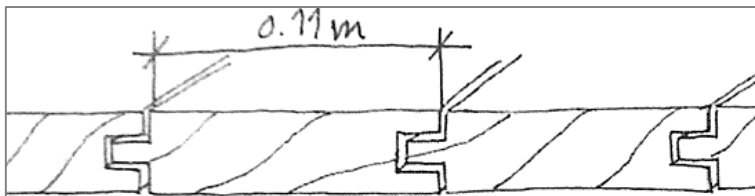


Figura 68: Soalho "à inglesa"

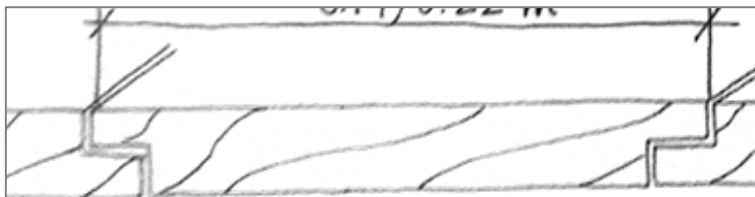


Figura 69: Soalho "à portuguesa"

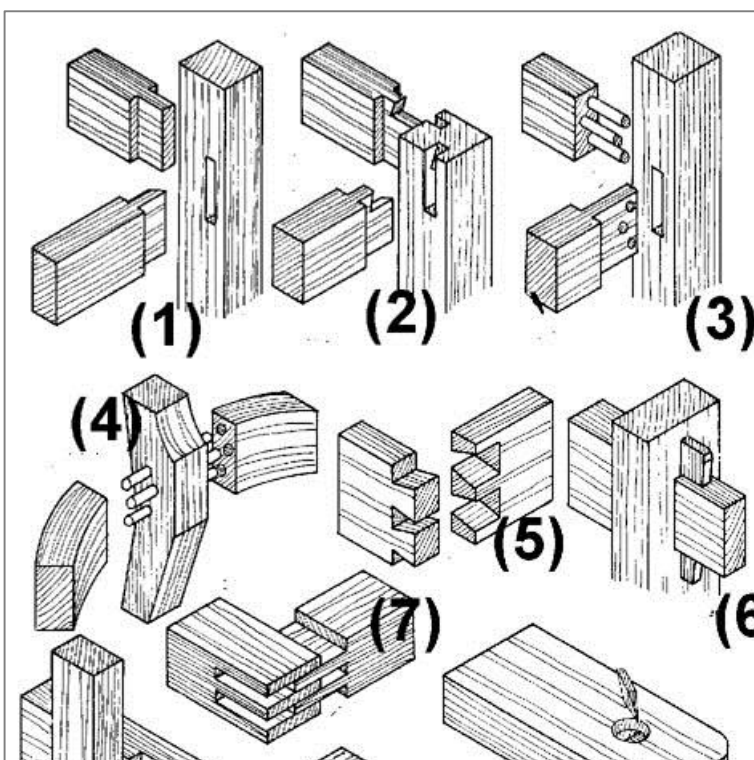


Figura 70: Outros exemplos de encaixes tradicionais

- (1) Espiga
- (2) Espiga com detalhe 45°
- (3) Cavilha
- (4) Conexão cavilha curva
- (5) Malhete rabo de andorinha
- (6) Cunha encravado
- (7) Encaixe com pinos

3.3.2. Uniões coladas

As uniões coladas possibilitam ligações entre peças totalmente rígidas, mas frágeis e de aplicação limitada. As ligações rígidas, nos cantos e na parte inferior dos pilares permitem, de certo modo, libertar a construção com madeira das limitações que apresentam as ligações articuladas.⁸⁵ Estas uniões são realizadas recorrendo a adesivos. Neste caso, as peças são unidas de forma permanente, sendo que a sua separação só é possível destruindo parte do material. No entanto, por vezes, com a passagem do tempo, as peças começam a separar-se.⁸⁵

3.3.3. Uniões mecânicas

As uniões mecânicas (Figuras 71 e 72) são aquelas que recorrem a elementos metálicos para fazer a fixação entre peças, sendo as mais utilizadas atualmente. Estas podem dividir-se em ligações do tipo cavilha e ligações tipo de superfície.

As ligações do tipo clavilha dão-se com recursos a pregos, parafusos, passadores, etc. As uniões mecânicas tipo de superfície dão-se com o recurso a conectores e a “placas-cavo”. Estes são elementos de fixação que transmitem esforços de carga através de uma superfície de maior dimensão do que os elementos do tipo cavilha.⁸⁶

⁸⁵ BOSCH. *O que é necessário saber sobre uniões em madeira*, visitado a 12-09-13

(<http://www.bosch-do-it.com/pt/pt/bricoleiros/conhecimento/dicas-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o/o-que-%C3%A9-necess%C3%A1rio-saber-sobre-uni%C3%B5es-em-madeira-98627.jsp>).

⁸⁶ MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madeira. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 18-20

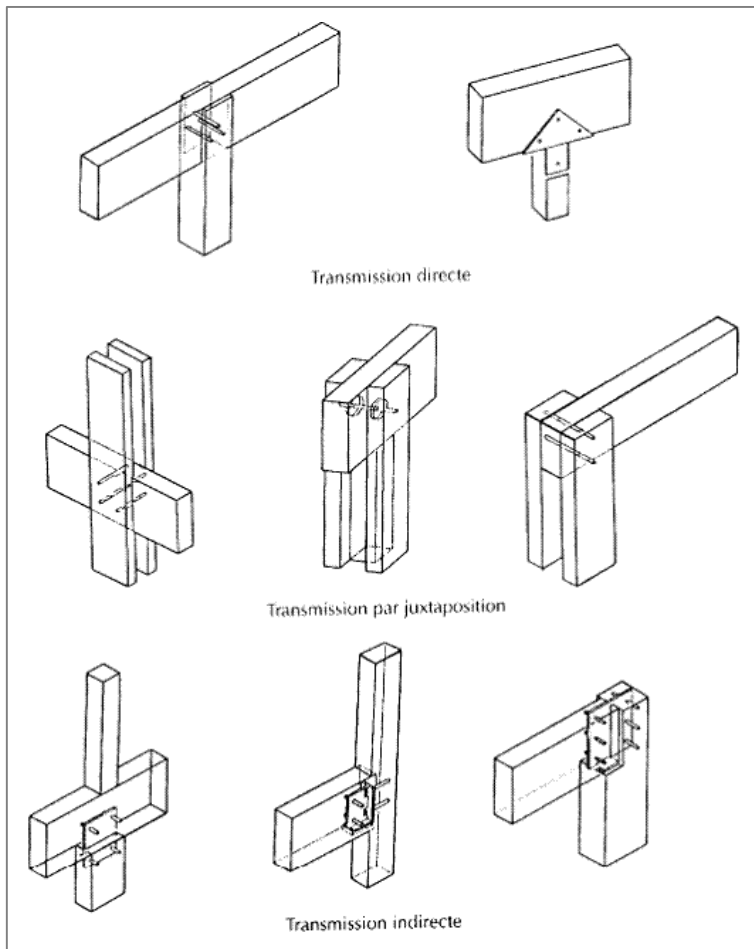


Figura 71: Exemplos de uniões mecânicas

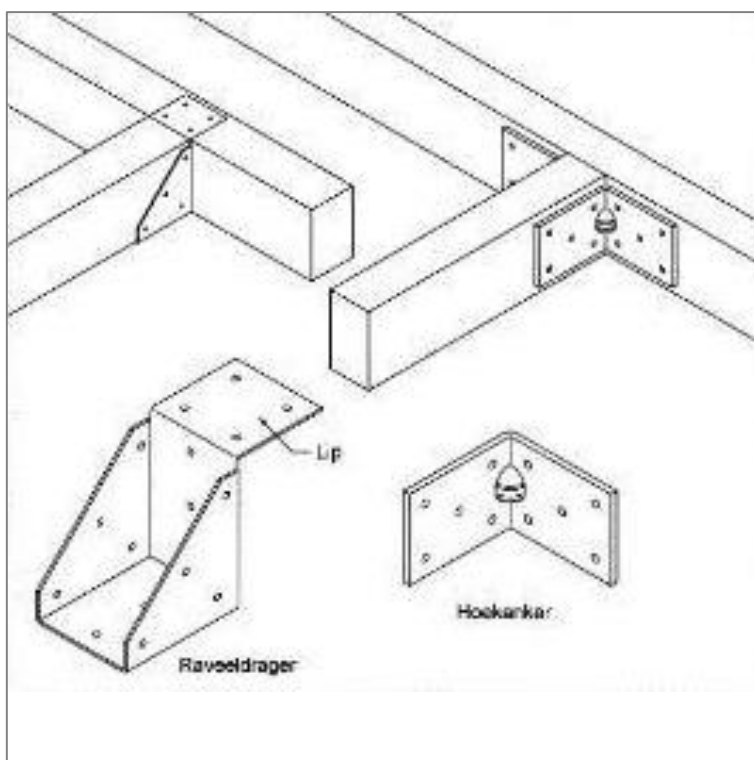


Figura 72: Montagem em ângulo com âncoras metálicas

Capítulo 4: o paradigma da habitação coletiva em madeira

4.1. A habitação em madeira na atualidade

4.2. O contributo da madeira para a habitação coletiva

4.3. A madeira para a imagem do edifício

4.1. A habitação em madeira na atualidade

“Construir envolve responsabilidade para o futuro. Um edifício permanece na paisagem e exerce uma influência, este desafia os seus envolventes e as pessoas que lidam com ele.”¹

Atualmente verifica-se um “ressurgimento” do uso da madeira na construção principalmente devido a preocupações ambientais que apontam este como um dos materiais mais ecológicos, principalmente pela sua capacidade de regeneração. O uso da madeira, porém, é, ainda contestado por alguns céticos que temem a utilização abusiva de madeiras exóticas e a destruição de habitats naturais. No entanto, estas ânsias podem ser evitadas pela elaboração de políticas razoáveis que preservem as florestas, permitindo o uso da madeira de forma inesgotável. O desenvolvimento da indústria da madeira, oferecendo inúmeros produtos apelativos derivados desde material, assim como as novas técnicas de construção e os mais recentes sistemas de união e fixação dos elementos tem também um papel fundamental nesta ascensão da madeira na construção.

A madeira tem vindo a implantar-se em áreas que antes pareciam fora de alcance, caso de edifícios de grande escala, edifícios de habitação coletiva de vários pisos e, inseridos em contextos urbanos consolidados.²

Assim, pode dizer-se que a madeira se encontra a retomar o espaço que perdeu no mercado da construção ao longo do último século. A utilização deste material como principal elemento estrutural em edifícios de grande dimensão tem-se multiplicado, caso, por exemplo da Escola Superior Suíça para a Engenharia da madeira (Figura 73) e a Bridport House, o edifício em madeira mais alto do Reino Unido (Figura 74). Países como os nórdicos têm otimizado tecnologias, envolvendo a madeira, de grande sofisticação, pelo que se acredita que a madeira na construção retomar o seu lugar num futuro próximo e duradouro. De forma a salientar a importância que a madeira tem recebido na atualidade, é pertinente referir que a mancha arbórea europeia atual é a maior de sempre, o que remete imediatamente para a potencialidade do uso e exploração deste material.³

A construção em madeira encontra-se, agora, perfeitamente consolidada devido à elaboração de inúmeros estudos, direcionados principalmente para as questões de estrutura e de segurança contra incêndios, compilados em regulamentos, à semelhança do que aconteceu com o

¹ RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 9

² SCHITTICH, Christian. 2012. Editorial. *Detail*, no 2, p. 116 “Wood is forging ahead into areas that were to date beyond reach, be it the urban context or large-scale, multi-storey apartment buildings.”

³ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 147 “Os países nórdicos têm otimizado... a mancha arbórea europeia de hoje é a maior de sempre...”

betão armado no passado. A indústria da madeira encontra aqui mais um forte ponto de sustentação, havendo já diversas empresas que oferecem serviços tendo por base os referidos regulamentos.⁴

Em países como os Estados Unidos da América, a Escandinávia e o Japão verifica-se que a madeira continua a ser o material de construção mais utilizado, correspondendo a cerca de 80 % da construção residencial.⁴ Já em Portugal verifica-se que ainda persiste alguma “relutância” na utilização deste material em construção na íntegra, o que, felizmente, começa agora a mudar, em prol de questões ligadas ao ambiente e de uma atitude mais esclarecida sobre a temática.⁵

As construções de média altura em madeira têm vindo a popularizar-se em países de alta densidade populacional, nomeadamente na China, uma vez que trazem vantagens como a redução de custos, melhor eficiência energética, melhor desempenho sísmico e possibilidade de construir, devido ao seu menor peso e a menores fundações, em locais onde anteriormente seria impensável. No entanto, o futuro reside nas construções em altura.⁶

Atualmente alguns nomes surgem associados aos desenvolvimentos mais recentes no âmbito da construção em madeira, caso, por exemplo do arquiteto brasileiro Marcos Acayaba (Figura 75) e do canadiano Michael Green, entusiasta e encorajador da construção em madeira em altura, autor do estudo “*The Case for Tall Wood Buildings*”.

⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2-6

⁵ PEDRO, Fernanda. 2010. As casas de madeira do século XXI. *Arquitectura & Construção*, no 58, p. 129

⁶ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 13 “... wood frame apartment blocks of four or more storeys. However, this may be an option for the future...”



Figura 73: Escola Superior Suíça para a Engenharia da madeira



Figura 74: Bridport House, Londres, 2010



Figura 75: Residência Hélio Olga, Marcos Acayaba, São Paulo, 1990

4.2. O contributo da madeira para a habitação coletiva

“O produto resultante da área de atividade na construção está estreitamente ligado à qualidade de vida humana, pois atualmente as pessoas passam em média 80% a 90% do seu tempo dentro de edifícios e utilizam diariamente infraestruturas.”⁷

Tendo por base as vantagens já mencionadas foi possível identificar diversos benefícios que a madeira tem quando usada na construção de edifícios de habitação coletiva. Assim, a construção de habitação multifamiliar em madeira apresenta a mais-valia de ser mais eficiente e ecológica, comparativamente à habitação multifamiliar de materiais tradicionais, devido às características do material em si e pela redução do impacto ambiental gerado. Construir em madeira é uma das melhores ferramentas de que arquitetos e engenheiros dispõem para reduzir as emissões responsáveis pelo efeito de estufa e consequente aumento do buraco de ozono e armazenar carbono nos edifícios.⁸

Este apresenta um ponto fulcral uma vez que a preocupação com o meio ambiente e as questões ligadas à sustentabilidade, quer dos edifícios como das cidades, são cada vez mais determinantes na hora de projetar. Uma construção em madeira, durante o seu ciclo de vida e utilização, armazena dióxido de carbono; por exemplo, o edifício The Open Academy, em Norwich, no Reino Unido, consegue armazenar 2325 toneladas de dióxido de carbono, que corresponde a um balanço negativo de dióxido de carbono durante no mínimo duas décadas (Figura 76).⁹ Um estudo elaborado na Suécia, em 2007, que comparou dois edifícios de quatro pisos de altura, em tudo semelhantes, exceto no material utilizado (um de madeira e o outro de betão), durante um período de 100 anos, veio comprovar que a madeira implica um menor gasto de energia durante a etapa de construção, comparativamente ao betão.¹⁰

O seu excelente comportamento térmico leva também a reduções de custos em aquecimento do edifício e numa melhor performance energética.

⁷ 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono. [2010?] *A sustentabilidade da pré-fabricação*. Lisboa: GEOTPU, FCT-UNL; p. 6

⁸ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; I “... wood is arguably one of the best tools architects and engineers have for reducing greenhouse gas emissions and storing carbon in our buildings.”

⁹ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 102 “... a The Open Academy, em Norwich, no Reino Unido que consegue armazenar 2325 toneladas de CO₂, o que corresponde a um balanço negativo de CO₂ durante pelo menos 20 anos.”

¹⁰ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 34



Figura 76: The Open Academy,
Norwich

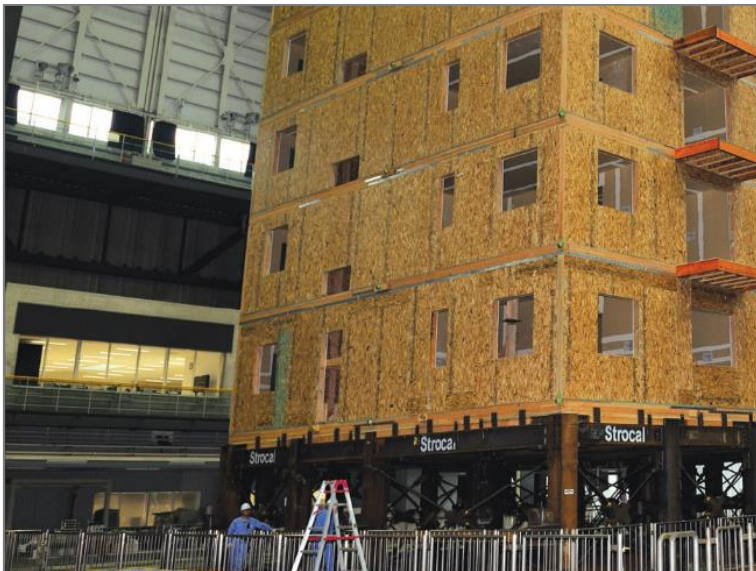


Figura 77: Teste realizado a um
edifício em madeira de 7 pisos
de altura na *E-Defense Shake
Table*, Japão



Figura 78: Edifícios de
habitação coletiva de madeira
com 4 pisos de altura, Canadá

As estruturas em altura de madeira apresentam um excelente comportamento face à ação sísmica, como comprova um teste realizado em Kobe, no Japão, usando a E-Defense Shake Table, a maior mesa de agitação do mundo (Figura 77). A estrutura testada possuía 7 pisos de altura, seis em estrutura de madeira e um em metal. O edifício foi sujeito a uma simulação de sismo 180 vezes superior ao de 1994, em Northridge, na Califórnia (ver subcapítulo 3.1.1. – Tabela 1), tendo este sido o maior teste sísmico alguma vez realizado, e não sofreu danos significativos, o que vem provar que mesmo estruturas de madeira em altura podem sobreviver ao mais severo abalo.¹¹ Como forma de comprovar o bom comportamento das estruturas em altura de madeira face aos sismos, surge ainda outro exemplo: as autoridades norte-americanas exigiram a construção de um edifício de escritórios com estrutura de madeira em Anchorage, no Alasca, com 20 metros de altura, sobre o preciso local onde se localiza uma linha de falha sísmica.¹²

Os edifícios em madeira com vários pisos apresentam, também a vantagem de ser muito duráveis. Existem, por exemplo, vários imóveis com mais de 100 anos, com 7 a 10 pisos de altura, em Vancouver, no Canadá.¹³

A regulamentação contra incêndios em vigor permite, dependendo do país, a construção de edifícios totalmente fabricados em madeira, entre os 4 e os 6 pisos,¹⁴ sendo que se verificam algumas exceções, caso, por exemplo, do Reino Unido e da Nova Zelândia, cuja legislação não apresenta limite de altura (Gráfico 11).¹⁵

Um estudo norte-americano, tendo por base a construção de um edifício com três pisos de altura demonstrou que escolher madeira em detrimento de betão pode gerar uma redução de custos na ordem dos 7 a 9% em material. O baixo peso das estruturas de madeira leva a uma redução das fundações o que implica automaticamente uma redução de custos.¹⁶

¹¹ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 57

¹² RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser; 15

¹³ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; II In “Vancouver’s Gastown neighbourhood 7 and 10 storey heavy timber buildings have stood for the last hundred years.”

¹⁴ KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 27

¹⁵ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 49

¹⁶ EUROPEAN WOOD. [2010?] *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China*. [s.l.]: European Wood and Canada Wood; 43-49



Figura 79: Edifício de habitação coletiva de *Wagramerstraße*, Viena, Áustria, 2013

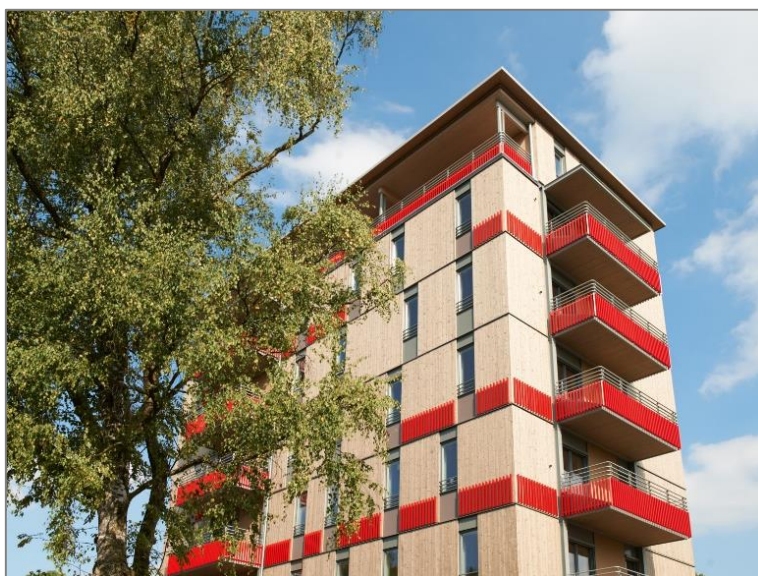


Figura 80: Edifício de 8 pisos de habitação coletiva e escritórios, *Bad Aibling*, Alemanha, 2011



Figura 81: Edifícios de habitação coletiva de *Breitenfurterstraße*, Viena, 2013

A construção tradicional requiere tempo para secar que se pode traduzir numa longa e onerosa espera, além de que, pode despoletar um certo grau de desconforto aos moradores no início da ocupação. Intrinsecamente ligado aos tempos de construção está o transtorno causado nas imediações, ou seja, quanto mais rápida for a execução de uma obra, menor será o impacto causado na vizinhança, tendo em conta os resíduos produzidos e o som gerado, que se considera de particular enfoque em construções urbanas.

As construções em madeira, tendo um tempo de construção inferior, têm, aqui, mais um fator a favor. Esta, afeta, ainda o Homem, sensorialmente, devido à sua aparência quente e luminosa, uma vez que transmite uma sensação de calor e conforto.¹⁷ Esta possui, também, cheiro, que depende da qualidade de madeira utilizada e que se afigura como uma característica importante e uma mais-valia na sua utilização. A questão do cheiro da madeira foi já experienciada no projeto do Pavilhão Suíço da Expo 2000 de Hannover pelo arquiteto Peter Zumthor (Figura 83).

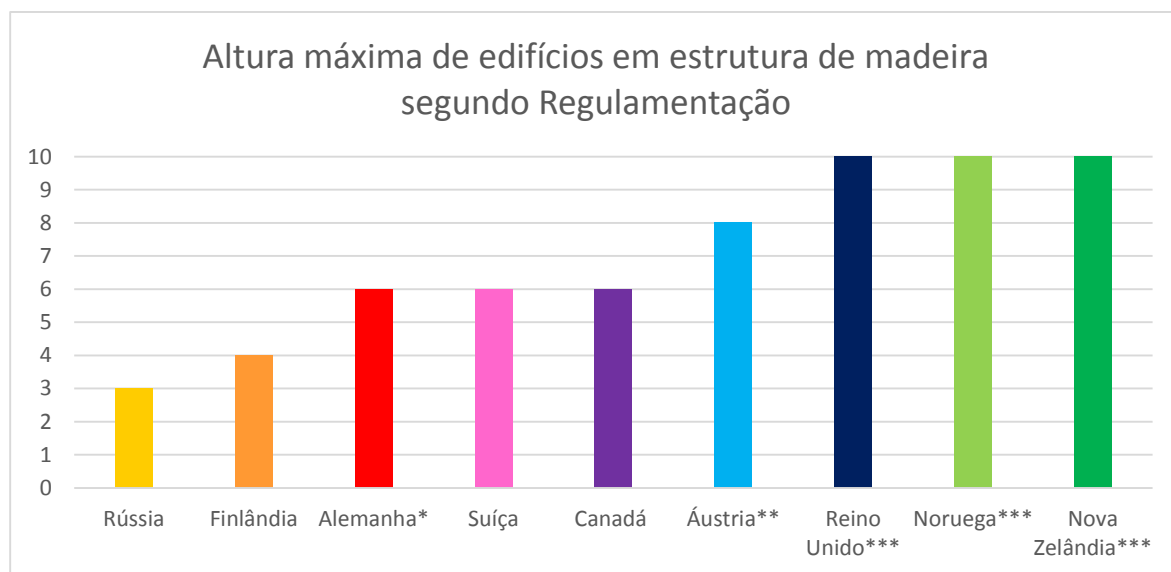


Gráfico 11: Altura máxima de edifícios em estrutura de madeira segundo Regulamentação

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 49

* Na Alemanha a Regulamentação determina que edifícios deste género não podem ser superiores a 18 metros de altura.

** Na Áustria a Regulamentação determina que edifícios deste género não podem ser superiores a 22 metros de altura.

*** A Regulamentação não estabelece um limite máximo de altura para edifícios deste género.

17 VIDIÉLLA, Àlex Sánchez. 2012. *Arquitectura com madeira*. Barcelona: LOFT Publications; 9



Figura 82: A madeira transmite a sensação de calor e conforto



Figura 83: Pavilhão Suíço da Expo Hannover, 2000, Peter Zumthor



Figura 84: Interiores em madeira da *Inbetween House*, Tóquio, 2010, Koji Tsutsui Architect & Associates

A madeira devido à sua capacidade de absorver ou reter humidade apresenta uma grande vantagem a nível de conforto e higiene, que se traduz num melhor desempenho hidrotérmico e num ambiente interior mais saudável.

A madeira possui, ainda, propriedades eletrostáticas, isto é, dificulta a acumulação de eletricidade estática, responsável pela acumulação de poeiras que podem desencadear reações alérgicas.

4.3. A madeira para a imagem do edifício

“Em Arquitetura, achamos que a sustentabilidade também abrange, além dos aspetos técnicos e energéticos, as questões ligadas ao aspeto estético e do bem-estar, tais como mostrar a realidade construtiva da madeira, revelando a força do material, ou o intenso relacionamento com o exterior, a flexibilidade de uso...”¹⁸

Construir em madeira não é o mesmo que construir em betão ou em qualquer outro material. A madeira é o único material natural “vivo” que se utiliza na construção pelo que, além de possuir características únicas, requiere, também especial atenção.

A madeira possui uma grande variedade de cores, texturas, fragrâncias e padrões o que lhe confere grande versatilidade e adaptabilidade, fazendo deste, um material de excelência¹⁹ e possibilitando um grande leque de opções arquitetónicas, das quais o arquiteto pode tirar partido. A madeira é um material heterogéneo, variando de árvore para árvore, que por sua vez varia de composição consoante as condições de clima e do solo onde se insere, o que atribui a este material uma estética de exceção.²⁰ Assim, a madeira representa um material que, quando usado, confere ao edifício uma imagem única, isto é, não há dois edifícios de madeira, por mais que se tente, exatamente iguais. Acontece que, não há duas árvores iguais, assim como não há duas peças de madeira retiradas da mesma árvore exatamente iguais, daí a riqueza estética deste material, em que cada peça difere na cor, na textura, no desenho, no padrão dos veios, etc. A vasta oferta de produtos derivados de madeira possibilita uma grande versatilidade estética, aliada à existência de inúmeros adesivos e meios de união de qualidade, que possibilitam múltiplas aplicações.²¹

¹⁸ PEDRO, Fernanda. 2010. As casas de madeira do século XXI. *Arquitectura & Construção*, no 58, p. 131

¹⁹ BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing; 107 “Its wide variety of colours, textures, grain patterns, and fragrances give designers a versatile and adaptable expressive tool for construction.”

²⁰ TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT; 44 “A madeira não é um material homogéneo... confere-lhe uma riqueza estética excepcional.”

²¹ THOMAS, Herzog. 2001. La Revolución de la madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 2



Figura 85: Casa revestida com “tiras de madeira verticais”, em Lauterach, Alemanha

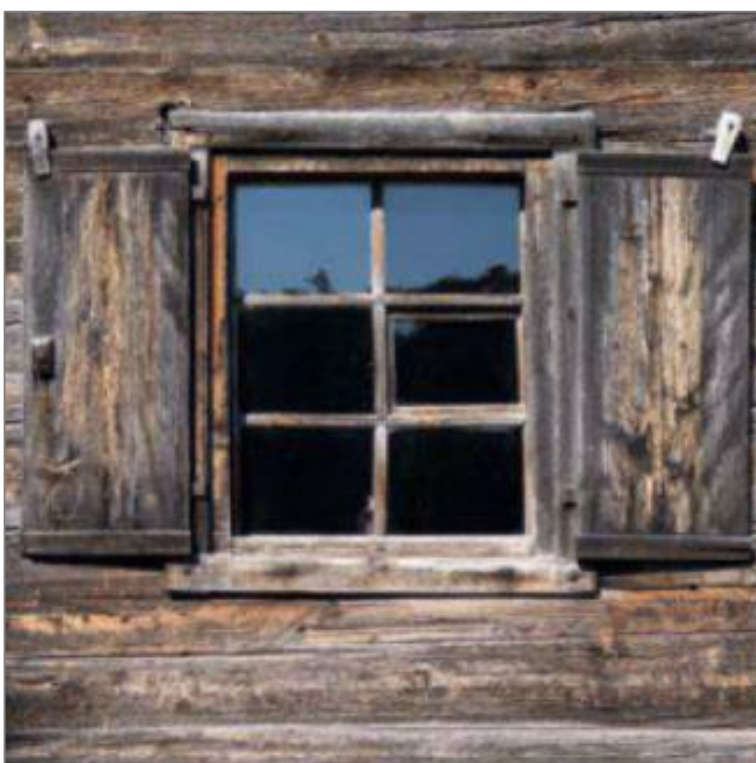


Figura 86: Madeira não tratada de uma Casa de Campo em Tyrol, Áustria

Na maior parte dos casos, utiliza-se a madeira como material de revestimento, interior e/ou exterior, quer pelas suas propriedades físicas e mecânicas como estéticas. No entanto, pode ainda tirar-se maior partido das suas características e potencialidades estéticas, pelo recurso à utilização de estruturas de madeira (caso, por exemplo, de vigas) à vista.

Assim como as estruturas, os revestimentos em madeira também sofreram, e têm vindo a sofrer, uma evolução. Assim, inicialmente, as construções em madeira apresentavam um aspeto mais pesado e heterogéneo, tendo vindo a adquirir, com o passar do tempo, um aspeto cada vez mais leve e homogéneo.

Os países do norte da Europa e a Rússia apresentam uma grande tradição de fachadas de madeira, caso, por exemplo, das típicas casas finlandesas, construídas com troncos de madeira.

Um pouco por toda a parte, verificou-se (e ainda se verifica) a popularização de uma certa imagem de fachadas de madeira, que se caracteriza pela sobreposição de “réguas” de madeira de 20 cm de largura, dispostas paralelamente na horizontal. Este sistema tinha a vantagem de, como as peças se encaixavam entre si, dispensar o uso de elementos metálicos de fixação.²² Acontece, porém, que atualmente imperam os edifícios que, embora a estrutura seja em madeira, apresentam revestimento exterior em placas de materiais incombustíveis, caso, por exemplo do alumínio e do fibrocimento, que se deve, principalmente, a exigências regulamentares (Ver subcapítulo 5.1.). Este facto não é, no entanto, tão limitativo quanto parece à primeira vista, uma vez que hoje em dia existe uma panóplia de revestimentos dos mais variados tipos, apresentando as mais diversas cores, padrões, geometrias e dimensões.

²² MARTITEGUI, Francisco Arriaga. 2001. Estruturas de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 4

Capítulo 5: Casos de estudo

5.1. Análise dos Casos

5.1.1. KLH Massivholz GmbH

5.1.1.1. Murray Groove Building

5.1.1.2. Forté Livingstone

5.1.2. Life Cycle Tower (LCT)

5.1.2.1. Life Cycle Tower One

5.1.3. Finding Forest Through the Trees (FFTT)

5.1.4. Timber Tower Research Project

5.2. Comparação entre sistemas

5.1. Análise dos casos

Atualmente proliferam no mercado diversos sistemas construtivos em madeira que, embora diferentes, recorrem todos à prefabricação. De comum têm, ainda, o recurso a estruturas de madeira laminada. Seguidamente serão apresentados três casos de estudo, referentes a três sistemas construtivos diferentes: o sistema construtivo desenvolvido pela empresa austríaca KLH Massivholz GmbH, o sistema canadiano conhecido como “Finding Forest Through the Trees” (FFTT) e o Life Cycle Tower.

5.1.1. KLH Massivholz GmbH

O sistema construtivo desenvolvido pela KLH Massivholz GmbH, da Áustria, usa painéis prefabricados de grandes dimensões de madeira laminada cruzada (CLT). A característica incomum deste sistema é o recurso a painéis de CLT como suporte de carga das paredes e lajes de pavimento. Este pode ser usado em habitações, edifícios comerciais, educacionais e projetos industriais. Os sólidos painéis de madeira utilizados contribuem substancialmente para a diminuição da pegada ecológica dos edifícios. A madeira laminada é produzida industrialmente de abeto seco, cortado e colada em camadas de 3, 5, 7 ou mais folhas. Os painéis de CLT são usados nas paredes, pavimentos e elementos da cobertura e são realizados com alta precisão os cortes feitos para as portas e janelas.¹

O bônus ao usar CLT é uma tremenda contribuição para a construção sustentável, possibilitando a diminuição da energia gasta na construção, reduzindo o calor desperdiçado durante a ocupação pelo melhoramento do isolamento e da impermeabilidade do edifício e, facilitando o rápido desmantelamento e reciclagem no fim de vida da estrutura.

Embora a estrutura não possua vigas ou pilares, é abundante em paramentos verticais, o que lhe confere grande estabilidade estrutural e um ótimo comportamento face a sismos. Os painéis com 3 camadas (usados nas paredes) garantem resistência ao fogo durante 30 minutos e os painéis com 5 camadas (usados nos pavimentos) garantem resistência durante 60 minutos.² Os painéis de CLT têm a particularidade de poder ser dispostos segundo diferentes direções, de forma a potenciar ao máximo as propriedades resistentes do material e a melhorar a distribuição das forças a que estão submetidos. Assim, os painéis que constituem as paredes exteriores estão colocados

¹ TRADA. 2009. *Stadthaus, 24 Murray Groove, London*. Buckinghamshire: TRADA Technology; 2

² TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 40 “No que respeita à resistência ao fogo, os painéis de X-LAM de 3 camadas garantem uma estabilidade ao fogo de 30 minutos e os de 5 camadas, estabilidade de 60 minutos.”

perpendicularmente ao comprimento e os painéis que constituem os pisos estão colocados paralelamente aos mesmos.

Utilizar este sistema implica, além de que se use um revestimento, que a humidade no interior do edifício não desça abaixo dos 40 % durante um longo período de tempo, pois pode levar a variações de dimensão que podem resultar na formação de falhas; este não é, no entanto, um fator preocupante em Portugal, uma vez que é altamente improvável que tal se verifique. Ao usar CLT é necessário, também que a madeira seja tratada por forma a resistir às intempéries.

À semelhança da maior parte da construção do género, este sistema é executado “a seco”, ou seja, sem recurso a argamassas³ e, as ligações entre peças são conseguidas pelo intermédio de uniões metálicas.

Manter uma alta performance acústica é uma consideração importante para a KLH. Acusticamente, os edifícios de madeira têm sido classificados como “pobres” quando comparados com os de betão ou de alvenaria. Mas, os painéis de CLT têm uma densidade consideravelmente superior à dos edifícios construídos em madeira tradicionalmente, pelo que garantem a solução deste problema.⁴

Os painéis de CLT podem ser uma opção arquitetónica bastante versátil pois admitem diversos tipos de acabamento ou revestimento. Neste sistema como em outros prefabricados, o mais usual é utilizar placas de CLT ou de OSB, duplas e com isolamento no interior nas paredes interiores.⁵

Embora a madeira seja suficiente, em alguns casos, opta-se por usar betão armado nas paredes do rés-do-chão.

NOTA: Este sistema construtivo foi já importado para Portugal pela KLH – TISEM, uma empresa criada por um grupo de jovens engenheiros nacionais, sediada na Figueira da Foz.

³ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 41 “Como a maior parte dos sistemas do género, é feito a “seco”...”

⁴ TRADA. 2009. *Stadthaus, 24 Murray Grove, London*. Buckinghamshire: TRADA Technology; 2

⁵ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 74 “Os sistemas prefabricados utilizam muitas vezes um sistema alternativo, com painéis contínuos duplos com isolamento no interior, em derivados da madeira, sendo os mais comuns, o OSB e a madeira lamelada colada”.



Figura 87: Murray Grove Building, Londres, 2009



Figura 88: Life Cycle Tower ONE, Dornbirn, 2012



Figura 89: Projeto FFTT (não executado)

5.1.1.1. Murray Grove Building

Ficha técnica:

Descrição: Bloco de apartamentos com 8 pisos de altura, construído com painéis de madeira laminada, segundo o sistema construtivo desenvolvido pela austríaca KLH. Os códigos que limitavam as construções em madeira para uma altura máxima de 7 pisos fazem do Murray Grove Building, com 8 andares, um dos mais altos da Europa.

Localização: Hackney, Londres, Reino Unido

Data de construção: 2009

Arquitetura: Waugh Tristleton Architects

Prémios: Wood Award 2008

Timber in Construction Awards 2008

Timber Journal Awards 2008

Análise formal e funcional

O edifício é dividido em duas secções que são independentes, quer em acessos como em serviços (Figura 89). O imóvel organiza-se em 29 apartamentos, distribuídos em torno de uma caixa central e que vão desde a tipologia T1 à tipologia T4. Os habitantes locais têm um gabinete no piso 0 e a Metropolitan Housing Trust tem apartamentos nos pisos 1, 2 e 3 (Figura 91), sendo os superiores destinados a privados (Figura 92). Quer a nível de planta como de alçado, nota-se uma diferenciação ao nível do piso 4 no edifício. O alçado, inspirado no trabalho dos artistas Gerhard Richter e Marcus Harvey, utiliza também madeira. Os 5000 painéis utilizados (cada um com 1200 mm x 230 mm) foram fabricados manualmente e feitos com cerca de 70 % de restos de madeira aproveitada.⁶

⁶ TRADA. 2009. *Stadthaus, 24 Murray Grove, London*. Buckinghamshire: TRADA Technology; 2

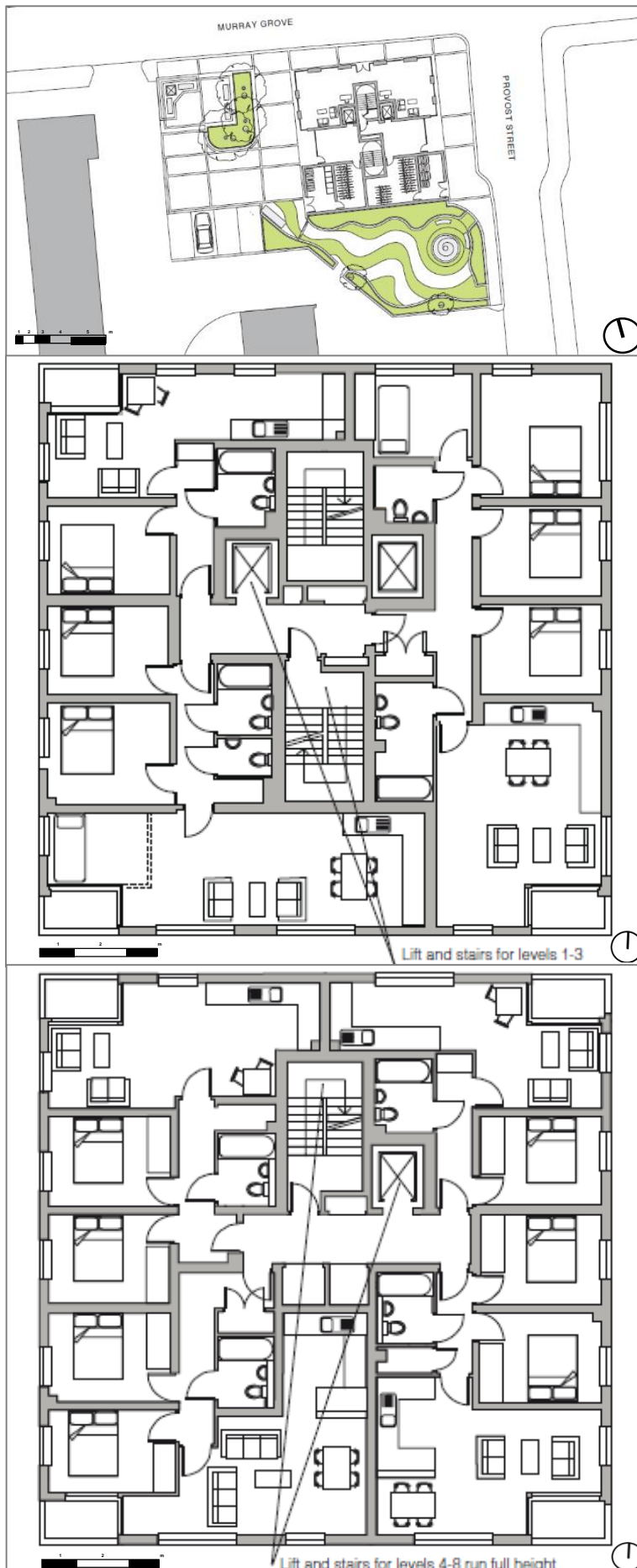
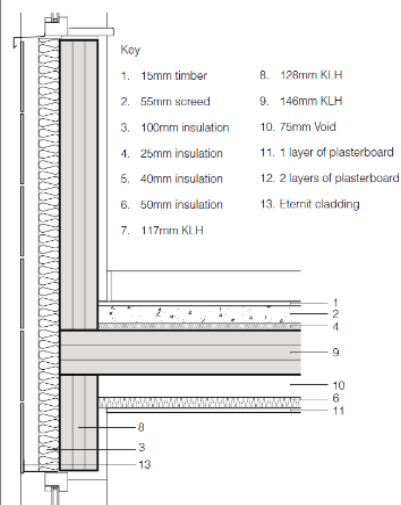


Figura 90: Planta de implantação

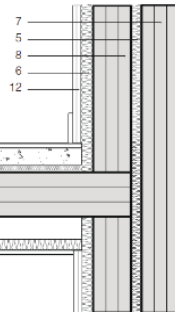
Figura 91: Planta tipo dos apartamentos para a Metropolitan Housing Trust (3º piso)

Figura 92: Planta tipo dos apartamentos para privados (5º piso)

Detail A:
Section at external wall



Detail B:
Section at lift shaft



Drawings not to scale

Figura 93: Pormenores A e B

1. Soalho madeira, 15 mm
2. Betonilha, 55 mm
3. Isolamento, 100 mm
4. Isolamento, 25 mm
5. Isolamento, 40 mm
6. Isolamento, 50 mm
7. Painéis de CLT, 117 mm
8. Painéis de CLT, 128 mm
9. Painéis de CLT, 146 mm
10. Espaço livre, 75 mm
11. Placa de gesso cartonado
12. 2 Placas de gesso carton.
13. Revestimento exterior, Eternit Cladding

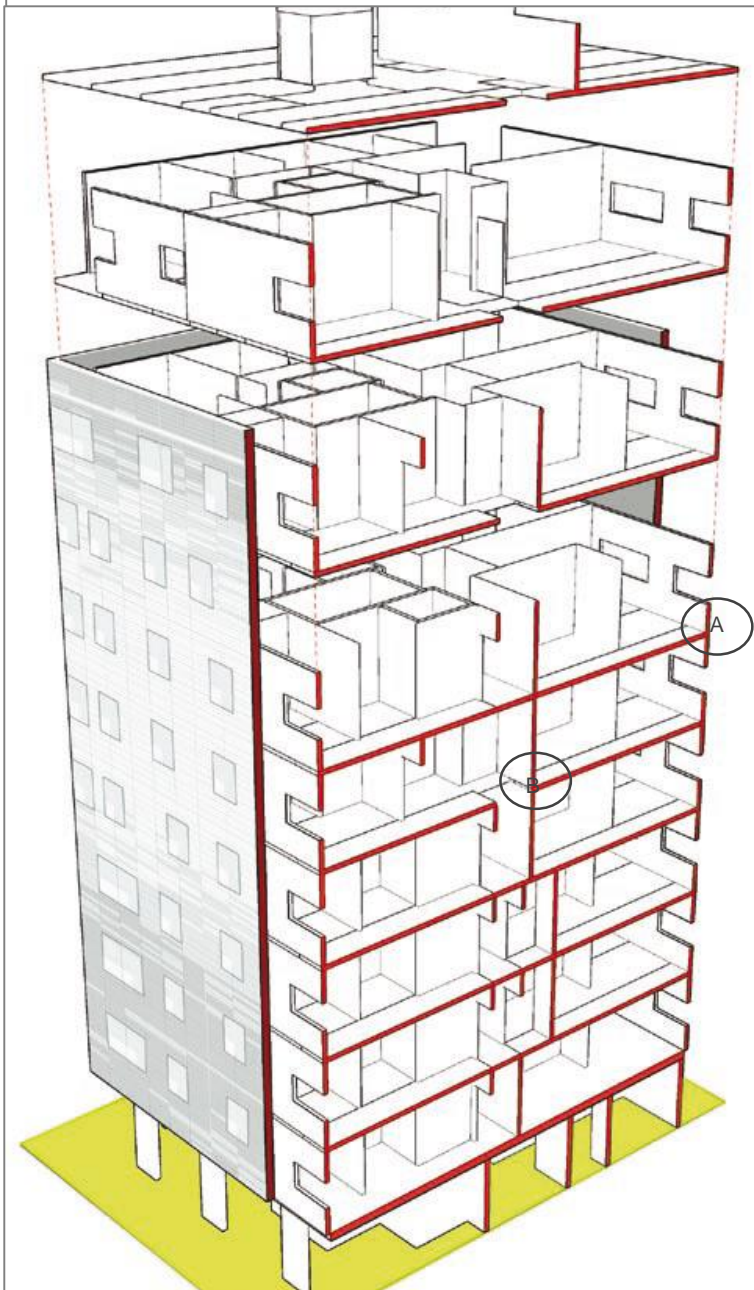


Figura 94: Corte axonométrico

c/ indicação dos pormenores

- A. Pormenor parede exterior
- B. Pormenor parede do elevador



Figuras 95 e 96: Típica parede interior fixa ao pavimento



Figuras 97 e 98: Instalação de painéis de pavimento



Figuras 99 e 100: Fácil fixação dos elementos e dos acessórios de suporte a infraestruturas

5.1.1.2. Forté Livingstone

Ficha técnica:

Descrição: Bloco de apartamentos com 10 pisos de altura, construído com painéis de madeira laminada e, cuja execução se deve à empresa KLH UK Ltd. Representa, atualmente, o edifício de habitação com estrutura de madeira mais alto do mundo (Figura 101).

Localização: Docklands, Melbourne, Austrália

Data de construção: 2012

Arquitetura: Gudrun Hausegger

Prémios: Sem conhecimento

Análise formal e funcional

O edifício, com 32.17 metros de altura, é constituído por 23 apartamentos, cuja área varia entre os 59 e os 102 m². Neste foram usados 760 painéis de CLT, nos pisos, tetos e paredes. Este considera-se, também, uma obra com grande enfoque na sustentabilidade, na medida em que, em comparação com um edifício do mesmo género em aço ou em betão, permite salvar cerca de 1400 toneladas de CO₂.

Embora o Forté Livingstone seja, atualmente e, como já foi referido, o mais alto do mundo, este ver-se-á superado, por um edifício de estrutura de madeira, também de habitação coletiva, com 14 pisos de altura na Noruega, cuja conclusão se prevê para o Verão de 2014 (Figuras 102 e 103).⁷

⁷ PROHOLZ, última atualização a 20-09-2013

(<http://www.proholz.at/news/news/detail/neuigkeiten-aus-norwegen/>)



Figura 101: Forté Livingstone, Melbourne, 2012



Figura 102: Residência de estudantes Trehus, Bergen, Noruega

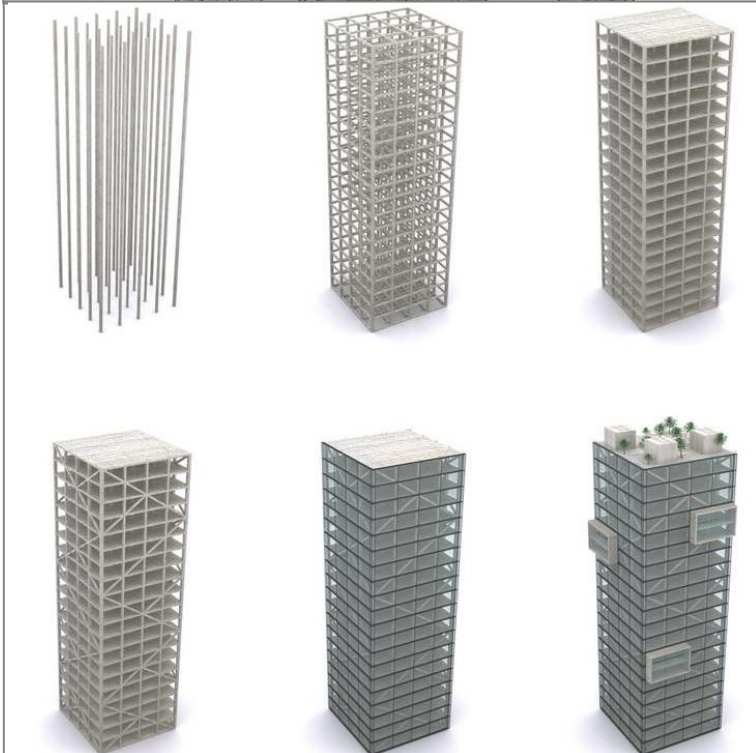


Figura 103: Esquema construtivo do edifício Trehus

5.1.2. Life Cycle Tower (LFT)

Life Cycle Tower é o nome pelo qual é conhecido um sistema de construção austríaco cuja finalidade é a construção de edifícios de madeira em altura, com mais de 20 pisos, numa para uso residencial e de escritórios. Este é um sistema de construção híbrida que combina a madeira com o betão.

Este sistema é constituído por três elementos que garantem o suporte dos edifícios: o núcleo central, os pisos e os suportes da fachada. O núcleo estabiliza os edifícios de todas as forças horizontais como o vento e os sismos. O plano original prevê que o núcleo seja em madeira, em secções verticais maciças, de até 32 metros de altura, do tipo “Post & Beam”, o que do ponto de vista estrutural não deverá ser um problema para edifícios com mais de 20 pisos de altura.⁸ No entanto, os Regulamentos de Segurança contra incêndios podem não permitir que a caixa central seja em materiais combustíveis. O piso térreo, assim como a caixa de acessos vertical, pode ser em betão armado como forma a excluir problemas associados ao fogo e à humidade.

Os pisos são construídos em madeira e betão armado. O betão armado contribui para uma isolamento sonora mais eficiente, proteção contra incêndios e como força compressiva. Os pisos têm de transferir forças verticais dos suportes de fachada e ao mesmo tempo bloquear a propagação do fogo de piso para piso. Os espaços entre as vigas previnem também a propagação de incêndios e permitem a passagem de infraestruturas.

As lajes de piso são unidades prefabricadas, cada uma com 2.7 x 8.1 metros, constituídas por 8 cm de laje de betão maciça suportadas por quatro vigas de madeira laminada colada (MLC) paralelas (cada uma com secção de 24 x 28 cm), e em que cada elemento de piso tem de ser suportado nos quatro cantos (Figura 104). As lajes de piso apoiam em consolas de metal soldadas ao núcleo central.⁹

As fachadas, baseadas numa malha de 1.3 metros, são adaptáveis com, por exemplo, painéis verdes ou proteções solares e manipuladas por cada utilizador. Estas podem, ainda, armazenar energia solar para uso elétrico ou aquecimento de águas, tornando o sistema sustentável.⁸

Este tipo de construção apresenta a vantagem de uma maior rapidez de execução uma vez que é completamente seca, não apresentando, por isso, atrasos por períodos de secagem.

⁸ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 32

⁹ KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 52

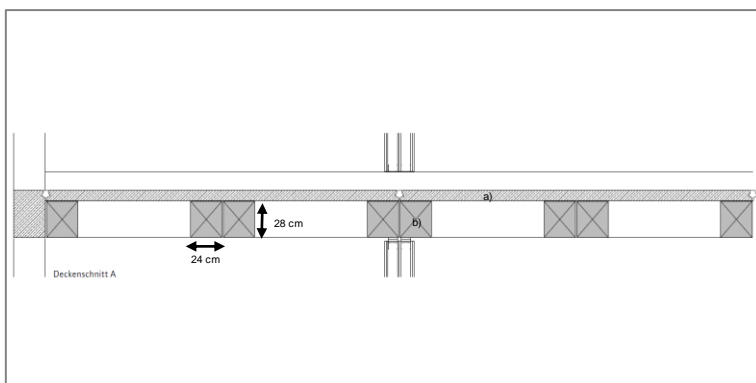


Figura 104: Esquema dos módulos de piso

- a) Elemento prefabricado de betão, 80 mm espessura
- b) Viga de madeira, 24 x 28 cm



Figura 105: Colocação dos elementos de piso

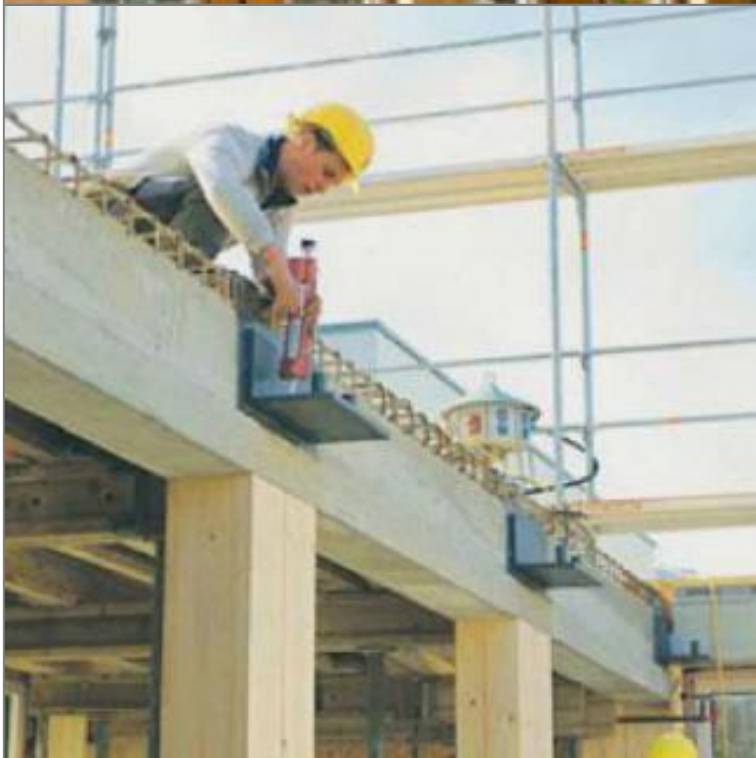


Figura 106: Ângulos metálicos de fixação entre o reforço de betão da viga e os elementos de piso

5.1.2.1. Life Cycle Tower ONE

Ficha técnica:

Descrição: Edifício de habitação coletiva e escritórios de construção híbrida (madeira + betão). O primeiro protótipo edificado do sistema Life Cycle Tower, mas cuja altura se limitou aos 8 pisos devido ao Regulamento de Segurança contra Incêndios austríaco.¹⁰

Localização: Dornbirn, Áustria

Data de construção: 2012

Arquitetura: Hermann Kaufmann

Prémios: Sem registo

Análise formal e funcional

O edifício é composto por 8 pisos de função adaptável, em apartamentos (Figura 107) ou escritórios (Figura 108), organizados em torno de um núcleo central circulatório que estabiliza toda a estrutura.

A fachada possui uma grelha de 2.7 metros que possibilita uma variedade de plantas para os dois tipos de utilização: residencial e de escritórios.¹⁰ A sua imagem é caracterizada pelas suas inúmeras janelas verticais e pelo seu revestimento exterior de alumínio (Figura 109).

Ao longo da fachada, os suportes são formados por colunas de MLC. Depois de posicionadas, as lajes de piso são juntas de forma a estabilizar o piso por meio de um selante. As colunas das fachadas são constituídas por duas secções de 24 x 24 cm. Cada uma das metades das duas colunas suporta o elemento de piso adjacente. As colunas são todas articuladas e estão

¹⁰ KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 52

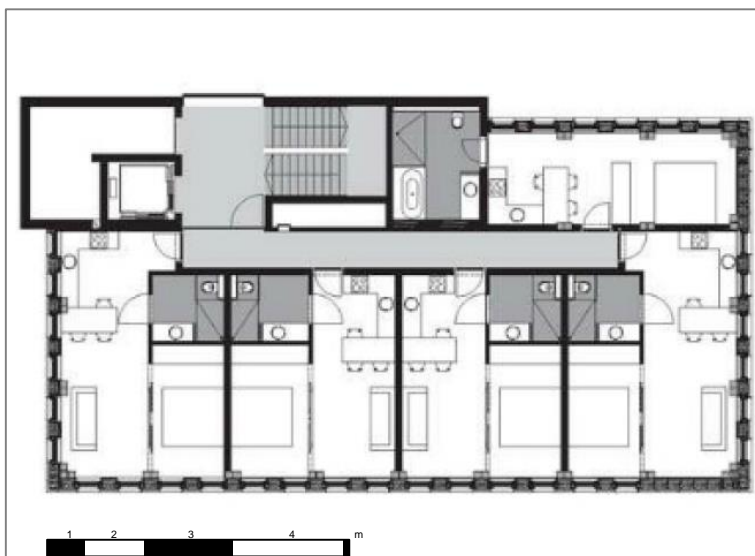


Figura 107: Planta tipo dos pisos de apartamentos

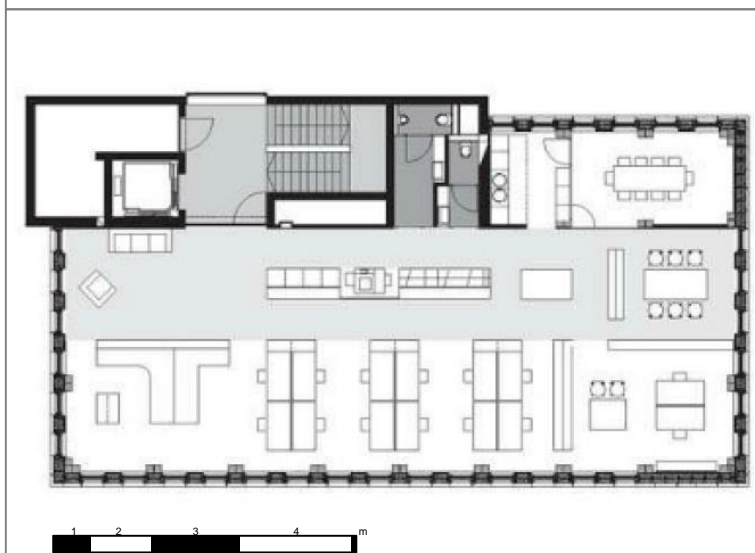


Figura 108: Planta tipo dos pisos de escritórios

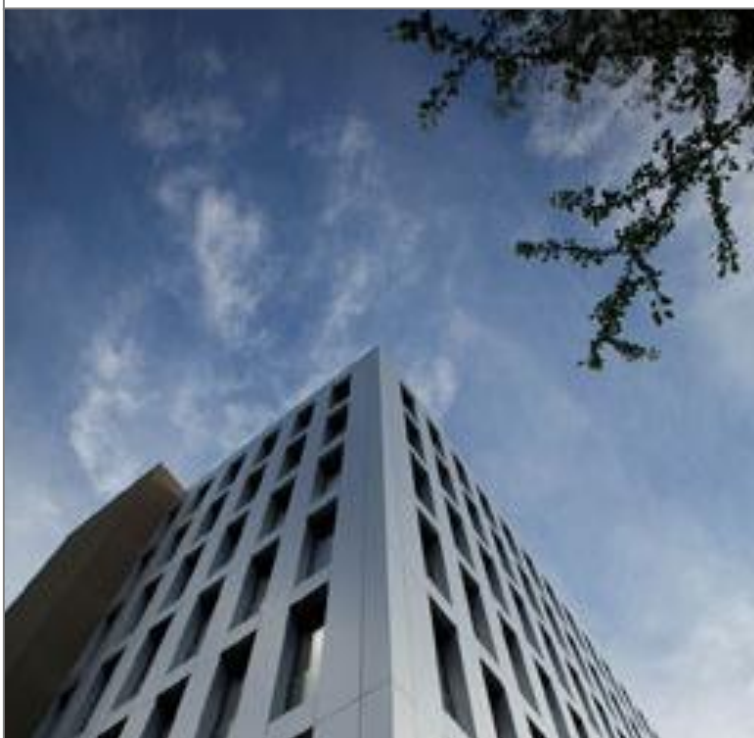


Figura 109: Fachada revestida a alumínio

apenas sujeitas a esforços perpendiculares. Como isolamento térmico das fachadas é utilizada lã mineral reciclada.

Segundo o LCA, realizado por uma entidade alemã, tendo em conta um período de 50 anos, o Life Cycle Tower ONE emite 27 kg de CO₂ por ano, 1/3 resultante da construção e 2/3 resultantes da ocupação do edifício, que representa menos 32 % das emissões de um edifício convencional do mesmo género. E, no fim de vida armazenará 340 toneladas de CO₂, equiparável ao que um Volkswagen Golf emitiria durante 60 voltas ao planeta.¹¹

¹¹ KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 52

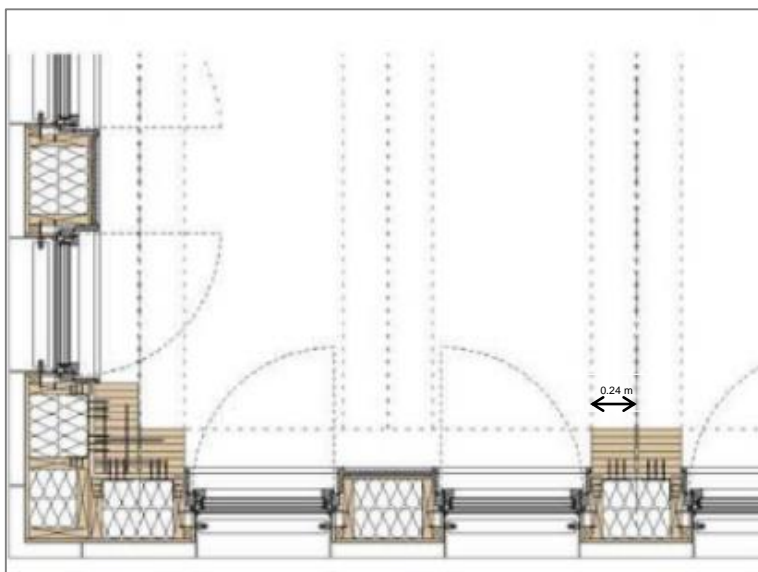


Figura 110: Pormenor de canto da parede

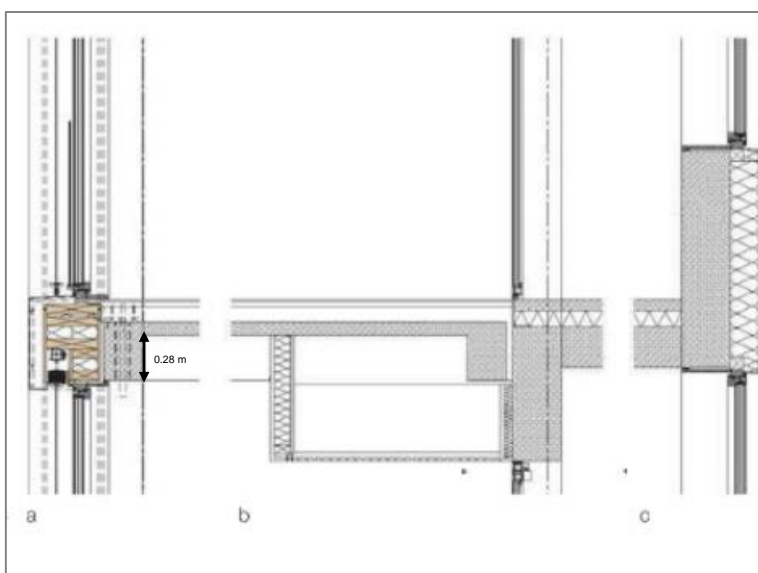


Figura 111: Corte do piso/fachada

- a. Fachada dos escritórios
- b. Teto falso em gesso cartonado do corredor
- c. Parede exterior da caixa de escadas (betão armado com isolamento pelo exterior)

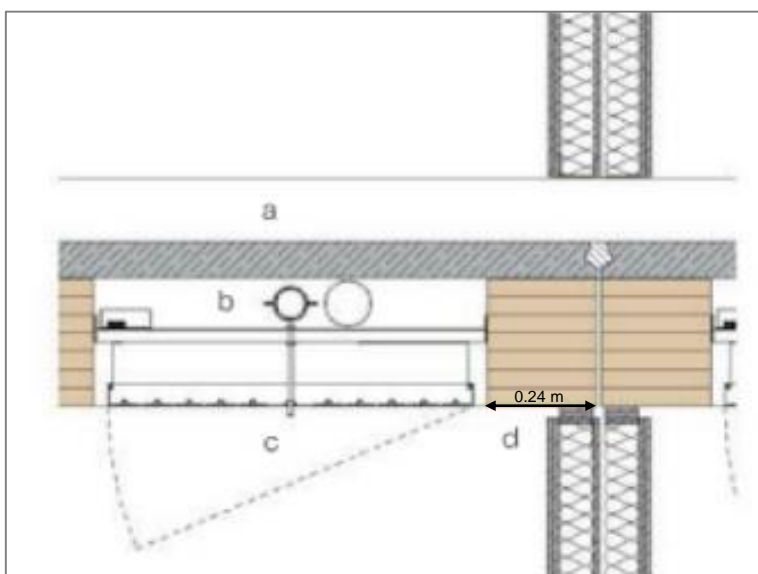


Figura 112: Corte pelo piso e parede divisória interior

- a. Elemento de betão prefabricado, 80 mm
- b. Instalações técnicas na cavidade de piso
- c. Teto radiante (acessível)
- d. Coluna de MLC (24 x 28 mm)

5.1.3. Finding Forest Throught the Trees (FFTT)

O sistema construtivo denominado Finding Forest Through the Trees (FFTT) representa uma forma simples e rentável de construir edifícios de habitação coletiva de madeira em altura. Desenvolvido em 2008 pelos canadianos Michael Green e Eni Korsh, este é um sistema de construção híbrido que combina a madeira com o metal. Nos pisos inferiores ao 12º, colunas de madeira são integradas nos painéis que formam as paredes, os pisos e o núcleo do edifício e, nos pisos superiores a este, são introduzidas vigas de metal nos painéis de madeira, por forma a conceder flexibilidade ao sistema e aumentar o peso da estrutura. Os painéis empregues podem ser de CLT, de LVL ou de LSL.¹²

Neste sistema há um caixa central à volta da qual se desenvolvem os pisos em madeira. Arquitetonicamente, este sistema permite planos mais flexíveis, amplos espaços e paredes mais finas.¹³

Esta conjugação, de madeira com metal, pode considerar-se competitiva relativamente à de betão com aço, na medida em que diminui os custos de construção.¹²

O FFTT é adaptável a várias valências, como edifícios residenciais, comerciais ou de serviços. É uma solução estrutural que possui uma pegada ecológica muito menor do que as de soluções equivalentes em betão ou em metal e é tido como uma alternativa económica para construções de até 30 pisos de altura.

Embora este sistema não tenha sido construído, a investigação levada a cabo pelos seus inventores, permitiu que, no geral, se provasse que o FFTT representa uma solução viável em todos os aspetos técnicos e perspetivas estéticas que satisfazem as necessidades típicas do projeto de edifícios em altura.¹⁴

NOTA: Estimativa orçamental do edifício no subcapítulo 6.2.4.

¹² GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 57 "It is intended to drive the cost of building erection down to make wood solutions cost competitive with steel and concrete and allow wood solutions to achieve significantly greater heights."

¹³ ROSENFELD, Karissa. *Michael Green presents "The Case for Tall Wood Buildings"*, última atualização 27-03-2012 (www.archdaily.com/220779/michael-green-presents-the-case-for-tall-wood-buidings/)

¹⁴ GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; I-II

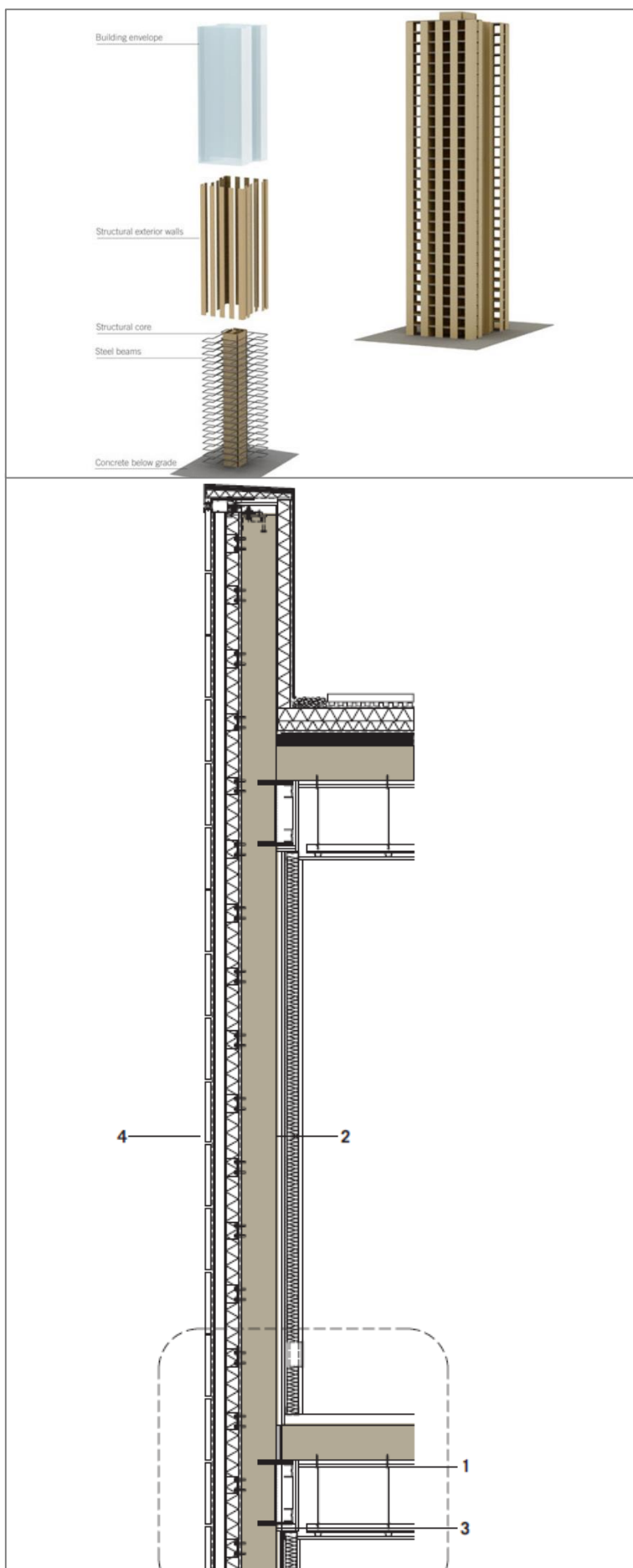


Figura 113: Esquema de construção da torre (1º. Fundações em betão; 2º. Caixa central de acessos verticais em madeira; 3º. Vigas metálicas; 4º. Paredes exteriores estruturais em madeira; 5º. Revestimento do edifício)

Figura 114: Pormenor de cobertura, piso e parede exterior

1. Painéis de MLC (2x)
2. Painéis de MLC (2x)
3. Viga metálica
4. Revestimento incombustível

5.1.4. Timber Tower Research Project

Timber Tower Research Project é o nome dado a um estudo norte-americano para um edifício de habitação coletiva em altura, num máximo de 42 pisos, que utiliza madeira maciça para a estrutura, minimizando deste modo a pegada de carbono associada ao edifício (Figura 115). Este foi realizado no segundo trimestre de 2013 pelo ateliê SOM, Skidmore, Owings & Merrill LLP.

A investigação foi aplicada a um protótipo com base num edifício de betão existente, por forma a estabelecer uma comparação. O edifício de referência escolhido foi o Dewitt-Chestnut Apartments, em Chicago, construído em 1965 e projetado pelo mesmo ateliê (Figura 116).

A solução adotada para o edifício foi a integração do betão na estrutura de madeira. Este baseia-se na utilização de sólidos painéis de madeira para os principais elementos estruturais, como lajes de piso e pilares, adicionando vigas de betão armado nas juntas da estrutura (Figuras 117-118). O resultado, segundo os seus autores, é uma estrutura eficiente que pode competir com o betão e o aço, enquanto reduz a pegada de carbono em 60 a 75%.¹⁵

Os painéis de CLT ou MLC que constituem os pisos têm, aproximadamente 20 cm de espessura (8 polegadas) e são mantidos fixos através do recurso às vigas de betão e através da estrutura vertical, sendo que o edifício é circundado por uma estrutura de pilares de MLC ou de madeira maciça. Este sistema de conexão permite economizar nos custos de construção dos pisos.

Nas paredes são utilizados, igualmente, sólidos painéis de CLT ou MLC, que são acoplados com recurso a vigas de betão armado. Este sistema foi especialmente pensado para resistir à ação horizontal do vento.

À semelhança dos anteriores casos estudados, as fundações e o rés-do-chão deste edifício são também em betão armado.¹⁶

NOTA: Informação sobre a acústica do edifício no subcapítulo 6.2.3.

¹⁵ SOM, Skidmore, Owings & Merrill LLP, visitado a 26-09-2013
(<https://www.som.com/publication/timber-tower-research-project>)

¹⁶ SOM. 2013. *Timber Tower Research Project*. Chicago: SOM; 3



Figura 115: Timber Tower Research Project, 2013 (não realizado)



Figura 116: Dewitt-Chestnut Apartments, Chicago, 1965

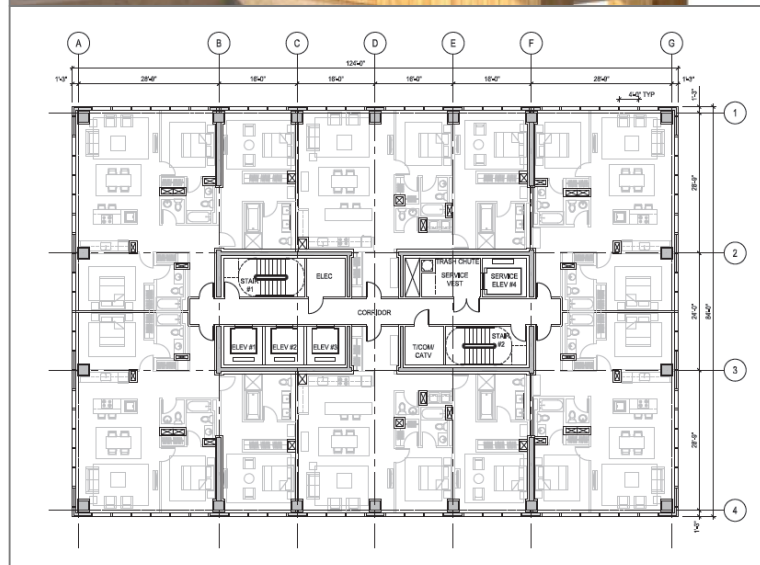
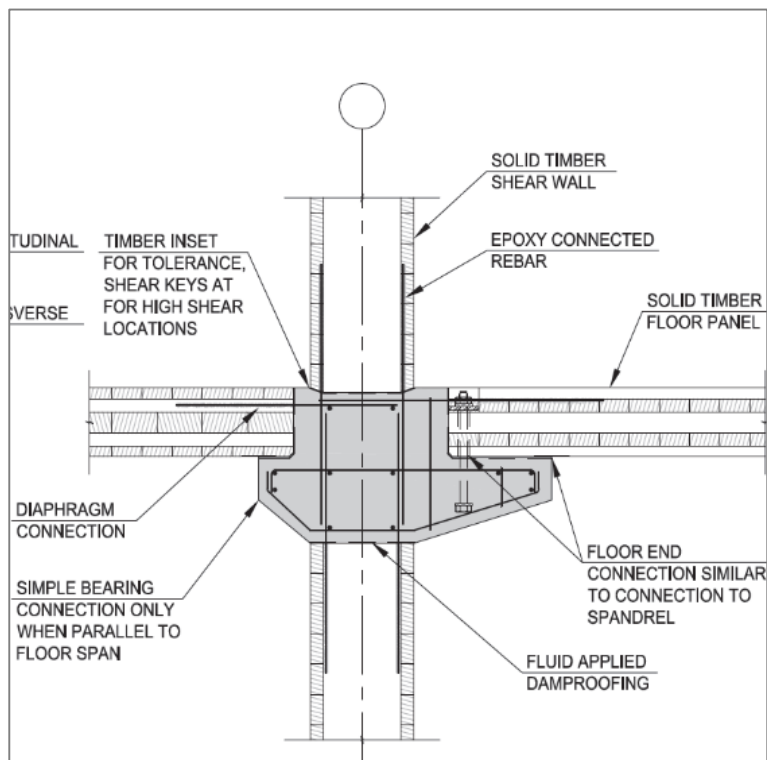


Figura 117: Pormenor da viga de betão que fixa a estrutura de madeira

Figura 118: Esquema da união das vigas de betão com a estrutura de madeira

Figura 119: Planta tipo dos pisos inferiores

5.2. Comparação entre casos

Tendo em consideração os casos de estudo apresentados foi possível estabelecer algumas comparações (Tabela 2). Assim, verificou-se que, embora diferentes, estes apresentam características comuns. Todos os sistemas recorrem à prefabricação dos seus componentes e a painéis de madeira laminada colada. Têm, também, em comum, o recurso a construção “seca”, ou seja, sem utilização de argamassas, cuja ligação entre os elementos é feita com uniões metálicas. A nível organizacional apresentam núcleos de acessos vertical, centralizados e os usos a que se destinam são a habitação e serviços. Em relação às fachadas, apresentam ainda, em comum, o recurso a materiais incombustíveis.

O Murray Grove Building e a Life Cycle Tower ONE têm em comum o facto de serem construídos no mesmo continente, Europa, e possuírem o total de oito pisos de altura, embora a legislação dos dois países não seja a mesma. No Reino Unido, as construções em madeira não têm limite de altura, o que não impediu o Murray Grove de, até ao ano de 2012, ter sido considerado o edifício em madeira mais alto do mundo. Já na Áustria, a legislação não permite a construção de edifícios de madeira de altura superior a oito pisos, muito embora o LCT se destine a construções de até vinte pisos de altura. O FFTT e o Timber Tower Research Project têm em comum o facto de serem apenas estudos e, por isso, não terem (pelo menos ainda) sido executados. São também originários do mesmo continente, América do Norte, embora o primeiro seja canadiano e o segundo dos EUA.

O edifício londrino e os projetos norte-americanos têm em comum o núcleo central, construído com painéis de madeira laminada, ao contrário do exemplo austríaco, em que a caixa de acessos verticais é em betão armado. A LCT ONE e o projeto do FFTT possuem uma única caixa de acessos verticais, enquanto o edifício do Murray Grove e o Timber Tower Research Project, são servidos por duas.

O Murray Grove Building recorre apenas a painéis de CLT na sua estrutura, enquanto os outros sistemas, mais ambiciosos em altura, recorrem a soluções de construção híbrida, ou seja, aliam a madeira a um outro material. Na LCT ONE, à semelhança do que se verifica nos outros sistemas, são utilizados painéis de madeira nas fachadas, no entanto, as lajes são constituídas por elementos prefabricados de betão, cada um assente sobre quatro vigas de madeira laminada colada. Já no exemplo do FFTT são incorporadas vigas de metal nos painéis de madeira que constituem as paredes, nos pisos superiores ao décimo segundo. No exemplo do ateliê SOM, são usadas vigas de betão para estabelecer a ligação entre os diferentes elementos de madeira, funcionando como um sistema inverso ao da LCT, isto é, neste caso, os elementos de piso são em madeira e as vigas onde estes assentam são em betão. Em todos os sistemas as fundações e o piso térreo são em betão de forma a prevenir problemas associados à humidade e à propagação de incêndios. Nos três primeiros exemplos, as fachadas têm em comum serem construídas por elementos dispostos sobre uma métrica regular e de materiais incombustíveis.

	MURRAY GROVE	LIFE CYCLE TOWER ONE	FFTT*	TIMBER TOWER RESEARCH PROJECT*
Tipo:	Residencial e de serviços	Residencial e de serviços	Residencial, comercial e/ou de serviços	Residencial
Local:	Londres, Reino Unido	Dornbirn, Áustria	Vancouver, Canadá	Chicago, Ilinois, EUA
Ano:	2009	2012	2008	2013
Arquitetura	Waugh Tristleton Architects	Hermann Kofmann	Michael Green e Eni Korsh	Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM)

Nº de pisos:	8	8 (≥ 20)	≥ 30	≥ 42
Acessos verticais:	Núcleo central (x2)	Núcleo central (x1)	Núcleo central (x1)	Núcleo central (x2)
	Madeira	Betão	Madeira	Madeira

	KLH Massivholz GmbH	Life Cycle Tower Construção híbrida	FFTT Construção híbrida	Timber Tower Research Project
Sistema construtivo:	Prefabricação	Prefabricação	Prefabricação	Prefabricação
	Painéis de MLC	MLC + betão	MLC + metal	MLC + betão
Madeira:	CLT	-----	CLT, LVL ou LSL	CLT ou maciça
Outros materiais:	-----	Elementos de piso em betão	Vigas metálicas	Vigas de betão
	R/C de betão	R/C de betão	R/C de betão	R/C de betão
Fachada:	Material incombustível Painéis Eternit Cladding	Material incombustível Alumínio (adaptável)	Material incombustível	-----

Tabela 2: Quadro-síntese comparativo dos casos de estudo

FONTE: Maria Isabel Marques Vilela (Setembro 2013)

*NOTA: Todas as considerações feitas em relação a estes casos de estudo referem-se ao sistema construtivo em si e não a nenhum caso de estudo em particular, uma vez que ainda não existe nenhum protótipo construído. Assim, dados como a data, o local e arquitetura são referentes à invenção do sistema.

Capítulo 6: Caso prático

6.1. Memória Descritiva e Justificativa

6.1.1. Localização e contextualização urbana do local de inserção

6.1.2. Ideia do projeto

6.1.3. Implantação, volumetria e escala

6.1.4. Acessos, circulações e organização funcional

6.1.5. Aspetos construtivos, materiais e relação com a imagem do edifício

6.2. Principais problemáticas encontradas

6.2.1. Legislação em vigor

6.2.2. Segurança contra incêndios

6.2.3. Comportamento acústico

6.2.4. Estimativa orçamental

6.1. Memória Descritiva e Justificativa

Ao longo da investigação e do estudo realizados foi possível propor um exemplo prático que contemplasse todas as informações relevantes que se retiveram para a elaboração de um edifício de habitação coletiva em madeira, sendo que as principais implicações são de carácter construtivo. O caso prático, de seguida, apresentado, refere-se, assim, a uma reflexão dos assuntos abordados ao longo do presente estudo. Além do mais, os assuntos tratados afiguram-se, como referido anteriormente, como forma de justificar parte das opções tidas no projeto em si.

6.1.1. Localização e contextualização urbana do local de inserção

O local de intervenção localiza-se, como referido anteriormente, na Rua Duque de Loulé, freguesia da Sé, concelho do Porto, no núcleo histórico da cidade, nos limites da área classificada Património da Humanidade (Figura 120). O local caracteriza-se principalmente pela sua frente urbana não consolidada, onde se observa o encontro entre duas realidades distintas: casas burguesas do século XIX e edifícios de habitação coletiva do século XX (Figura 121). Este representa, ainda, um importante ponto turístico e de tráfego automóvel da cidade.

O local encontra-se num elevado estado de “decadência quer urbana como social”. A migração das famílias do centro da cidade para a periferia levou ao abandono de inúmeros edifícios que se encontram atualmente devolutos¹, muitos dos quais em ruína, comprometendo a segurança dos transeuntes e “denegrindo” a imagem da cidade. Embora hoje em dia proliferem ações com o intuito de manter/ proteger o património histórico e arquitetónico da cidade do Porto, realizadas por parte de sociedades de reabilitação urbana, nomeadamente por parte da SRU, estas não têm alcançado todos os objetivos pretendidos na medida em que a reabilitação de edifícios continua a ser associada a elevados custos, não sendo ainda, considerada uma opção rentável e preferencial à construção de habitação nova. A transferência da maioria dos polos das faculdades portuenses do centro da cidade para um núcleo universitário comum também contribui significativamente para o abandono do centro da cidade, nomeadamente pela parte dos jovens. Assim e, no estado atual de crise económica, em que as famílias e os jovens se deslocaram para fora do coração da urbe, foi a população mais idosa que se manteve “fiel às origens”, aliado ao crescente envelhecimento demográfico que se verifica.²

Numa cidade em que proliferam os edifícios em mau estado de conservação, a reabilitação é tida como uma área muito promissora, não fossem os elevados custos que comportam e as

¹ PEREIRA, Bruno Elói Faria. 2012. *A Crise na Construção e a Reabilitação como solução*. Porto: Universidade Fernando Pessoa; 90-93

² INE-Instituto Nacional de Estatística. 2010. *Estatísticas da Construção e Habitação 2009*. Lisboa: INE

limitações que os edifícios possuem. Construídos numa outra época, em que as necessidades e os ideais de habitação eram distintos, muitos dos edifícios que se têm proposto reabilitar, são sujeitos a grandes alterações funcionais, que podem levar mesmo a alterações formais, comprometendo o objetivo primordial da reabilitação que é manter o carácter identitário do edificado.

Embora existam inúmeras infraestruturas desabitadas na zona em questão, resultantes também do excesso de construção que se deu há algumas décadas atrás, considera-se ainda pertinente a realização de construção nova, em especial no local onde o exemplo a apresentar se insere, uma vez que apenas este género de ação possibilita a consolidação de lacunas existentes nas frentes urbanas e permite a elaboração de habitações, ou mesmo de outro tipo de valências, adaptadas à realidade e às necessidades atuais, como por exemplo, a necessidade de estacionamento privativo, de elevador, etc.

Considera-se do maior interesse “chamar” a população jovem para o centro da cidade, uma vez que através desta, se pode impulsionar a economia e o comércio local, com, por exemplo, a criação de espaços especialmente destinados a esta faixa etária, além de que representam (ou estão em vias de representar) população ativa tão imprescindível para o desenvolvimento económico da sociedade, atendendo ao facto de, naturalmente, ser urgente a criação de postos de trabalho para os mesmos. Devido ao cenário de crise económica que o país atravessa, a compra de imóveis, embora se possa revelar um bom investimento a longo prazo, é pouco procurada, uma vez que as famílias não possuem a estabilidade necessária para se fixarem num determinado local e devido às dificuldades económicas que se verificam, à subida do IMI, etc. que fazem do aluguer uma opção mais procurada. Assim, considera-se importante a criação de habitação de alojamento temporário especialmente destinada a jovens que se queiram estabelecer durante um período de tempo no centro da cidade, nomeadamente no decurso da frequência de um curso superior, ou, mesmo, para aluguer turístico, uma vez que o destino Porto “está na moda”, sendo cada vez mais procurado e apreciado por visitantes oriundos um pouco de todo a parte do mundo.

6.1.2. Ideia do projeto

Propõe-se o fecho do quarteirão com um novo edifício (Figura 122), criando uma terceira identidade por forma a denotar o seu carácter de nova edificação. A ideia do projeto passa pela criação de apartamentos de carácter temporário, de pequena tipologia, T1, especialmente pensados para atrair os jovens para o centro da cidade, utilizando a madeira como principal material de construção e tirando partido de todas as suas vantagens, permitindo, no entanto, o estabelecimento de preços de aluguer competitivos.



Figura 120: Planta de localização (vista aérea)



Figura 121: Rua Duque de Loulé (Bird's eye)

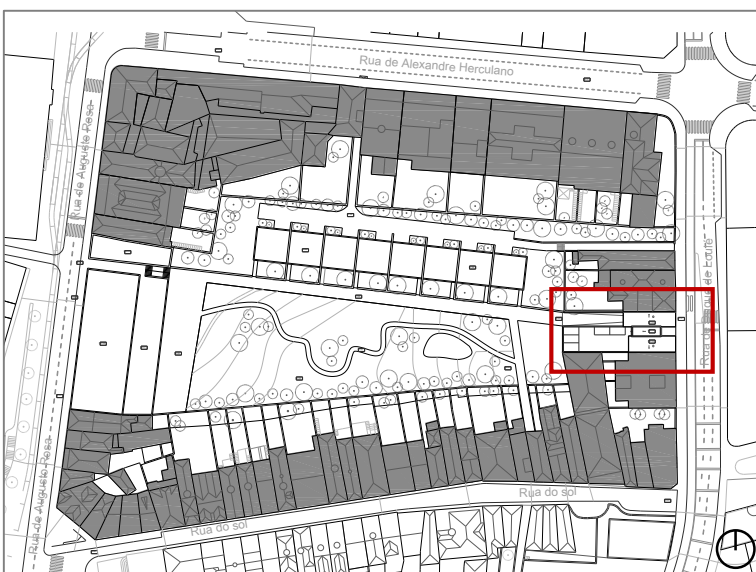


Figura 122: Planta de implantação

6.1.3. Implantação, volumetria e escala

Em planta, o novo edificado alinha com a implantação dos edifícios adjacentes, apesar de, no rés-do-chão, se localizar apenas a caixa de acessos verticais e uma pequena área de estacionamento privativo (Figura 123). Neste piso dá-se, também, o acesso ao interior do quarteirão, especialmente idealizado como espaço de apoio e de lazer par os habitantes, com um espaço verde e um equipamento de apoio social, visto, estas serem infraestruturas em défice na envolvente próxima.

Volumetricamente assiste-se a um jogo de três volumes de distintas dimensões e com uma diferenciação de cérceas, mantendo a irregularidade da envolvente (Figuras 124 e 125).

6.1.4. Acessos, circulações e organização funcional

O acesso automóvel ao edifício dá-se através da Rua Duque de Loulé, assim como o acesso pedonal que se pode dar através da rua ou desde o interior do quarteirão, que estabelece ligação à Rua Alexandre Herculano, Rua de Augusto Rosa e Rua do Sol.

O edifício está organizado em 7 apartamentos T1 que se distribuem em dois volumes diferentes, um de 3 e outro de 4 pisos de altura. O acesso aos mesmos processa-se por intermédio de uma caixa de acessos verticais central.

Os apartamentos são idênticos, uma vez que se procurou tirar partido ao máximo de elementos prefabricados, de forma a minimizar custos, tempos de construção e desperdícios de material. Assim, ao entrar em cada um, tem-se um *hall* de entrada, com ligação à sala, voltada a Poente, para o interior do quarteirão e, à cozinha. Este *hall* tem, por sua vez, ligação a um segundo espaço em que se acede à lavandaria, com abertura para o exterior, à instalação sanitária, a um pequeno compartimento de arrumos e ao quarto, voltado a Nascente, para a rua (Figura 126).

6.1.5. Aspetos construtivos, materiais e relação com a imagem do edifício

O carácter do novo edificado assume-se principalmente pelo sistema construtivo adotado – estrutura de painéis prefabricados de madeira laminada cruzada. Este foi o sistema adotado uma vez que se encontra bastante documentado e se multiplicam exemplos de edifícios assim construídos, um pouco por todo o mundo e inclusive, por se encontrar já disponível em Portugal. Para a caixa de acessos verticais recorre-se a betão aparente, numa clara distinção de funções e, devido à maioria dos regulamentos de segurança contra incêndios que implicam que esta seja

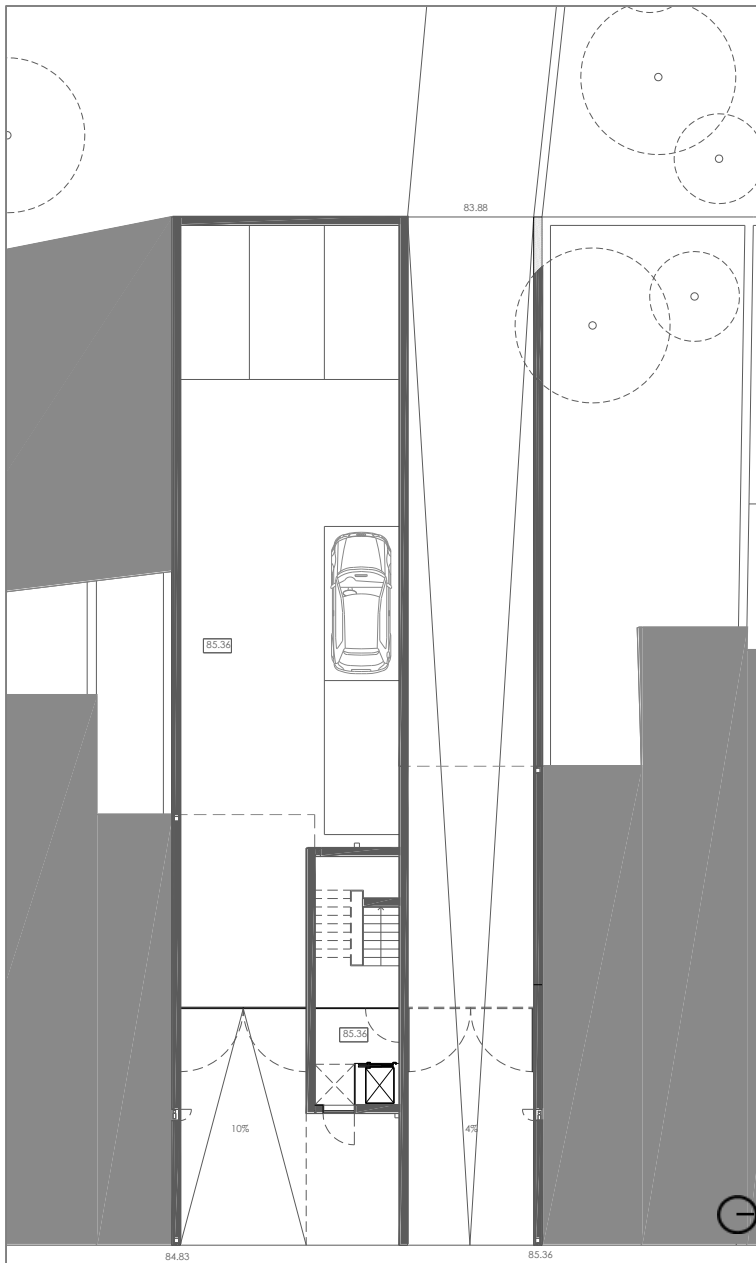


Figura 123: Planta do Piso 0

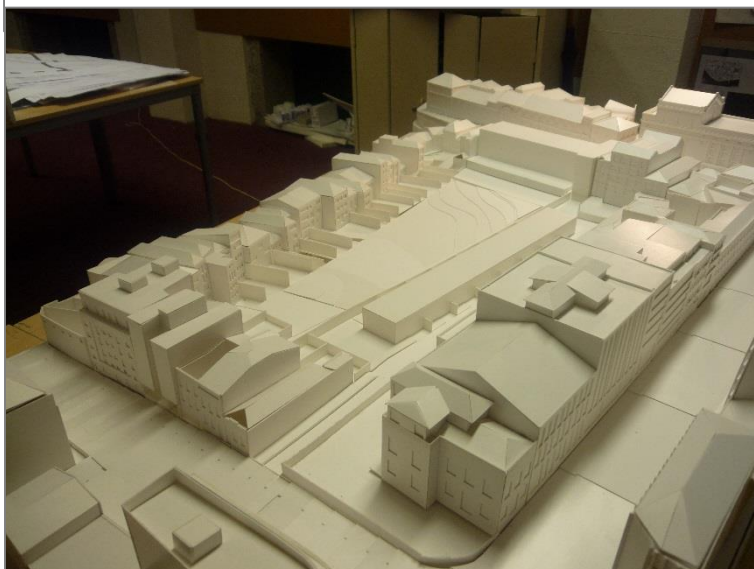


Figura 124: Fotografia da maqueta (Volumetrias)

construída com materiais incombustíveis. Assim, decidiu-se juntar as potencialidades de dois dos sistemas estudados, o da KLH com a sua estrutura de CLT (ver subcapítulo 5.1.1.) e o da Life Cycle Tower, que alia a madeira ao betão, numa construção híbrida (ver subcapítulo 5.1.2.). Sendo que a construção de habitação coletiva em madeira é uma “novidade” em Portugal, optou-se por, fazer uma abordagem “mais suave” ocultando a madeira pelo lado exterior (devido também a exigências do sistema adotado), o que poderia trazer grande impacto à imagem da cidade e ser mais difícil de justificar e, aliando o betão, um material muito mais recorrentemente aceite no panorama nacional, mas sem retraimento das potencialidades que viver numa habitação em madeira acarretam.

6.1.5.1. Fundações

As fundações mais usuais na construção em madeira são as de sapata contínua, uma vez que este tipo de fundação é indicado para sistemas que utilizam paredes resistentes, sem estrutura de pilares e vigas, e executadas de forma a acompanhar as mesmas. A madeira deve estar afastada do solo no mínimo 30 cm, devido às intempéries, de forma a não deixar entrar água e com uma seção mínima de entrada e saída de 15 cm² por metro linear de parede.

Uma vez que o peso da estrutura de madeira é inferior em relação às de betão, o tamanho das sapatas é menor.³ Isto leva também, como já referido, a uma economia de material e consequente, diminuição do custo de construção.

As soluções que apresentam o piso do rés-do-chão em betão e os superiores em madeira são recorrentes (caso por exemplo do Murray Grove Building), pelo que, no presente caso, se optou por escolher este procedimento, até pelo facto de não existirem apartamentos no piso do rés-do-chão, devido principalmente às questões de privacidade e à necessidade do máximo de área livre neste piso para se proceder aos acessos quer automóvel como pedonal, para o interior do quarteirão, sendo que este deve ter considerável largura de forma a “convidar” os transeuntes a percorrer a passagem (Figura 127).

³TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 63 “ Como as estruturas de madeira, apresentam pesos próprios muito inferiores aos praticados nas construções de alvenaria tradicionais, as dimensões das sapatas são, de uma forma geral, inferiores às necessárias em casas com estrutura em betão armado.”



Figura 125: Fotografia da maqueta (Edifício)

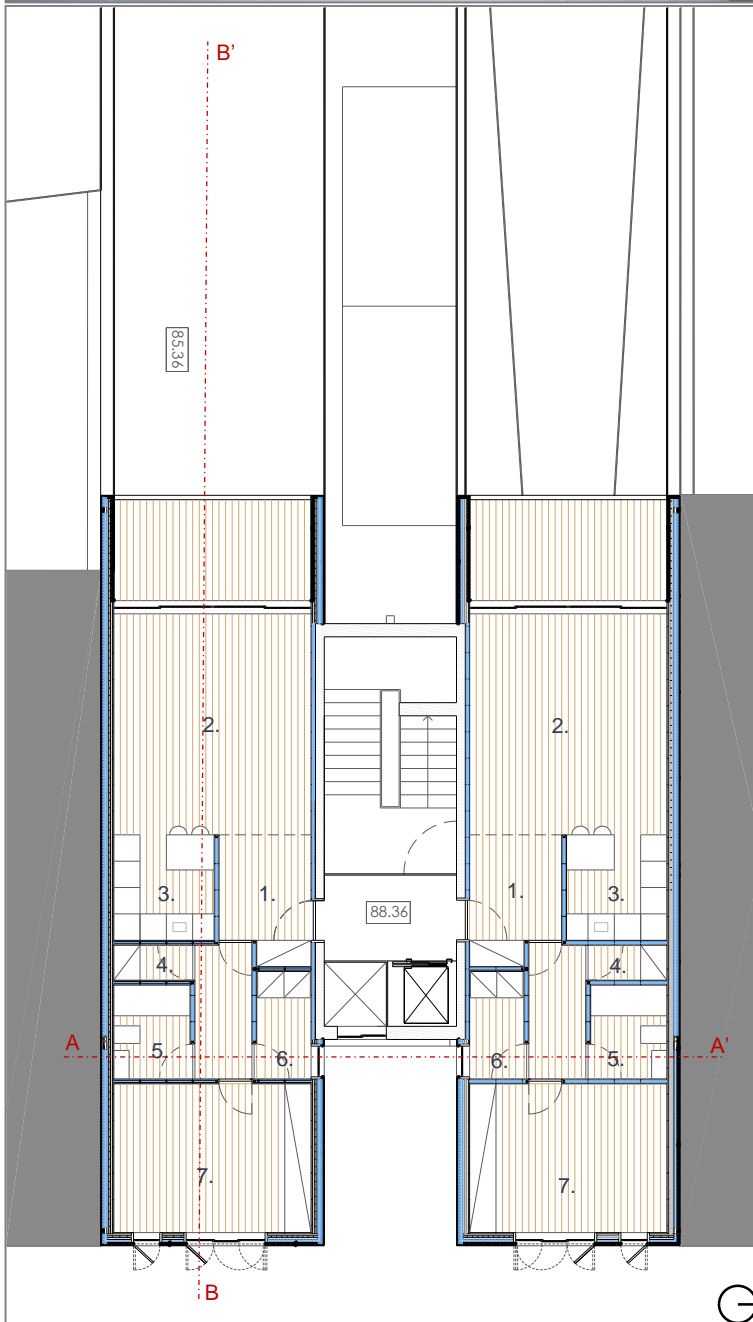


Figura 126: Planta do Piso 1
(Piso tipo)

1. Hall de entrada
2. Sala
3. Cozinha
4. Arrumo
5. Instalação Sanitária
6. Lavandaria
7. Quarto

6.1.5.2. Paredes exteriores e interiores

As paredes exteriores, sempre que possível, devem ser diretamente fixas ao betão. A utilização de juntas ou bandas de assentamento, às quais recorre o sistema da KLH (Figura 130), permite mitigar os problemas associados à estanquicidade do ar. Embora uma habitação necessite de ventilação, é importante que a mesma seja estanque, para evitar perdas de calor, que se traduzem num pior desempenho energético e a criação de correntes de ar, que podem provocar perturbações na acústica da habitação.⁴

As paredes exteriores no caso prático são constituídas por painéis de CLT, de 3 camadas. É utilizado um isolamento térmico de lã de rocha, que funciona também como isolamento acústico, com 10 cm de espessura e uma tela do tipo “Tyvec”, impermeável à água, mas permeável ao vapor. O acabamento exterior é em placas de Viroc que são painéis constituídos por uma mistura de partículas de madeira e cimento comprimido e seco, traduzindo, também o carácter de construção híbrida em que a madeira se alia ao betão e devido a exigências regulamentares que impedem o uso de materiais combustíveis em fachadas de edifícios de habitação coletiva. Este foi escolhido, não só pelos materiais que o compõem mas também devido à sua aparência heterogénea. Os painéis adotados têm 60 cm de largura por 150 cm de altura, 10 mm de espessura, são de cor ocre e como acabamento, são calibrados de forma a apresentarem partículas de madeira visíveis na sua superfície.⁵ Em relação ao acabamento interior, este é feito com recurso a placas de contraplacado marítimo de 30 mm de espessura (Figura 131).

As paredes interiores são constituídas por uma estrutura de elementos verticais de madeira (rematada por elementos horizontais) com 50 x 30 mm, espaçados 50 cm entre si, onde se fixam as placas de contraplacado, de 30 mm de espessura, que revestem os espaços interiores (Figura 132), com exceção da lavandaria e instalação sanitárias, cujo revestimento é realizado com placas de gesso hidrófugo, posteriormente pintado com tinta plástica de cor branca e, a cozinha, cuja parte da parede exposta entre os móveis inferiores e superiores, é revestida a alumínio anodizado.

As paredes da caixa de acessos vertical são, quer exterior como interiormente, em betão burjardado, cujo aspeto “frio” e “brutalista” contrasta com o aspeto “suave” e “acolhedor” dos apartamentos revestidos a madeira. A parede divisória entre a caixa de escadas e o *hall* para o elevador, assim como uma das paredes laterais do elevador, são em vidro, por forma a permitir e

⁴ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 88 “Uma envolvente com problemas de estanquidade pode originar uma ventilação descontrolada, originando desconforto nos utilizadores do edifício, grandes perdas de calor, reduzindo assim a eficiência da ventilação mecânica, e havendo criação de correntes de ar e de perturbação acústica.”

⁵ VIROC - INVESTWOOD, última atualização 13-03-2013

(http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos_Viroc/PT_Viroc_FichaProduto.pdf)

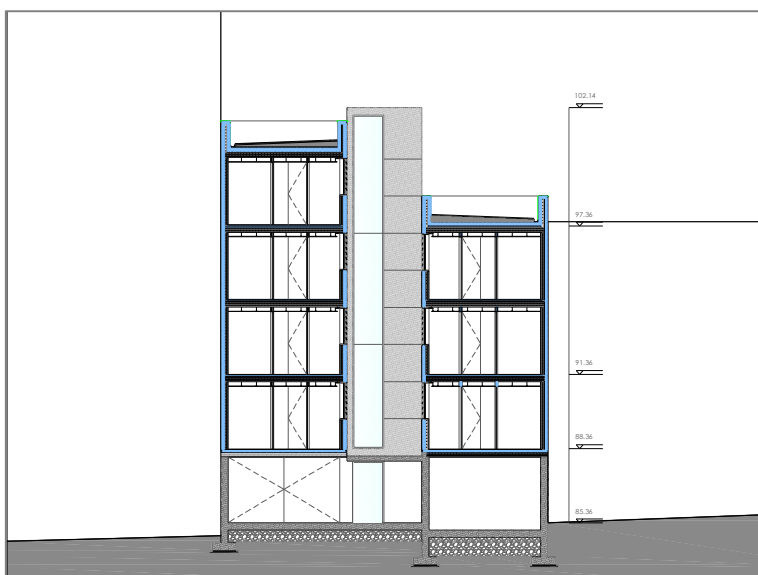


Figura 127: Corte AA'

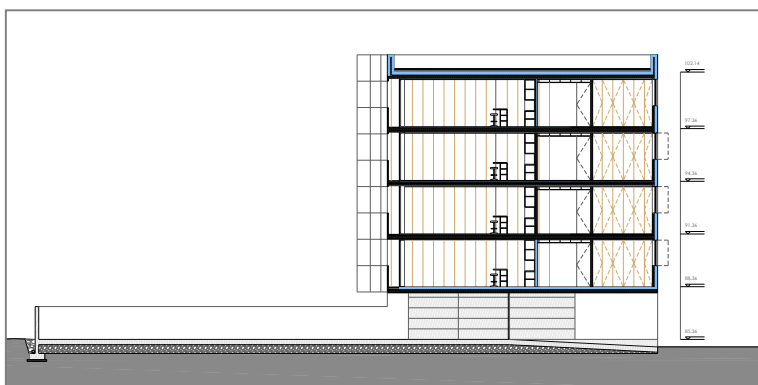


Figura 128: Corte BB'

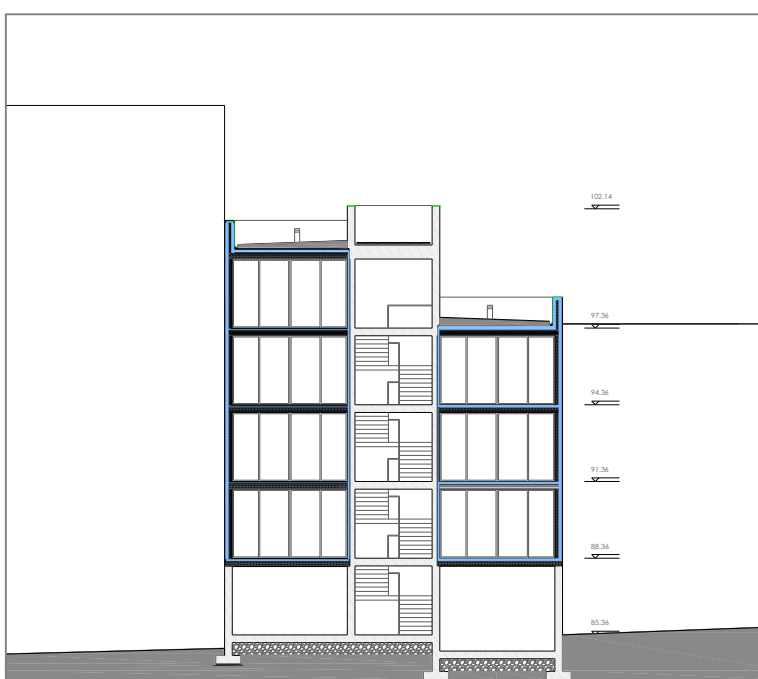


Figura 129: Corte CC'

otimizar a iluminação natural proveniente da extensa abertura no alçado nascente, voltado para a Rua Duque de Loulé (Figura 133).

6.1.5.3. Pavimentos

A estrutura das lajes é constituída por placas de CLT de 5 camadas. Sobre as mesmas é aplicada uma tela resiliente, que funciona como corte acústico, que é, ainda, sobreposta por uma camada isolante de lã de rocha de 6 cm de espessura.

O pavimento, assente sobre a camada isolante, é de soalho de madeira, cujas peças têm 15 cm de largura e 2 cm de espessura e, o encaixe é do tipo macho-fêmea (Figura 134).

6.1.5.4. Tetos

Os tetos são revestidos com painéis de contraplacado marítimo de 30 mm de espessura, idênticos aos das paredes, nas áreas mais nobres da habitação, caso das salas, cozinhas e quartos e, nos restantes compartimentos, mais pequenos, o teto é falso, de gesso cartonado (por forma a permitir acondicionar as infraestruturas necessárias), sendo este do tipo hidrófugo na lavandaria e na instalação sanitária.

6.1.5.5. Cobertura

A cobertura adotada é do tipo plana. No volume mais elevado, na caixa de acessos vertical, esta é revestida com lajetas de betão. Nos volumes habitacionais a cobertura é integralmente realizada em madeira, com a estrutura de CLT, sobre a qual é concebida uma camada de forma da pendente em madeira laminada. Esta é isolada termicamente com recurso a uma camada de lã de rocha de 14 cm de espessura e, impermeabilizada, à semelhança das paredes, com uma tela do tipo “Tyvec” (Figura 135).

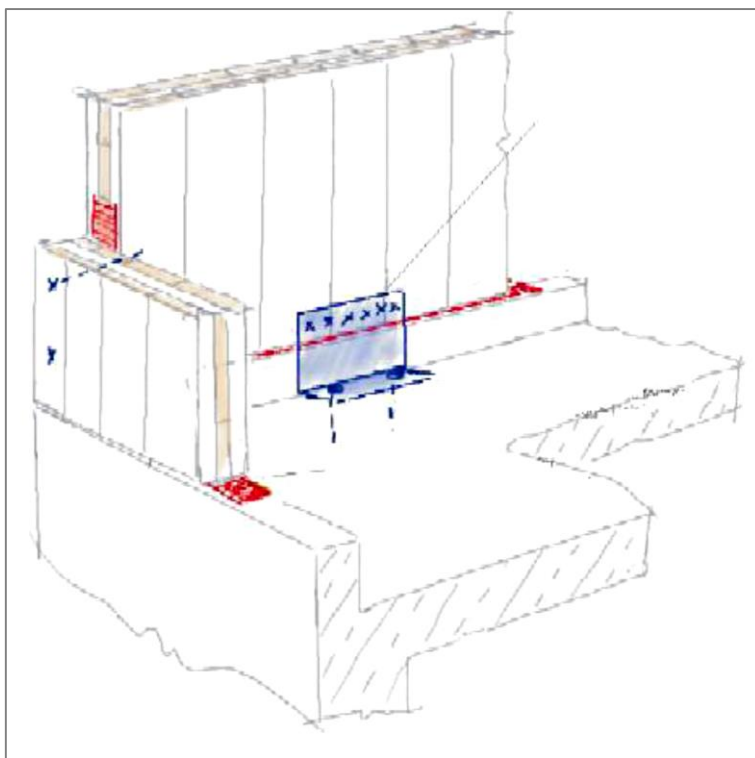


Figura 130: Ligações horizontais e verticais por ligadores metálicos (a azul) e por bandas de assentamento (a vermelho) de placas de CLT a fundações de betão

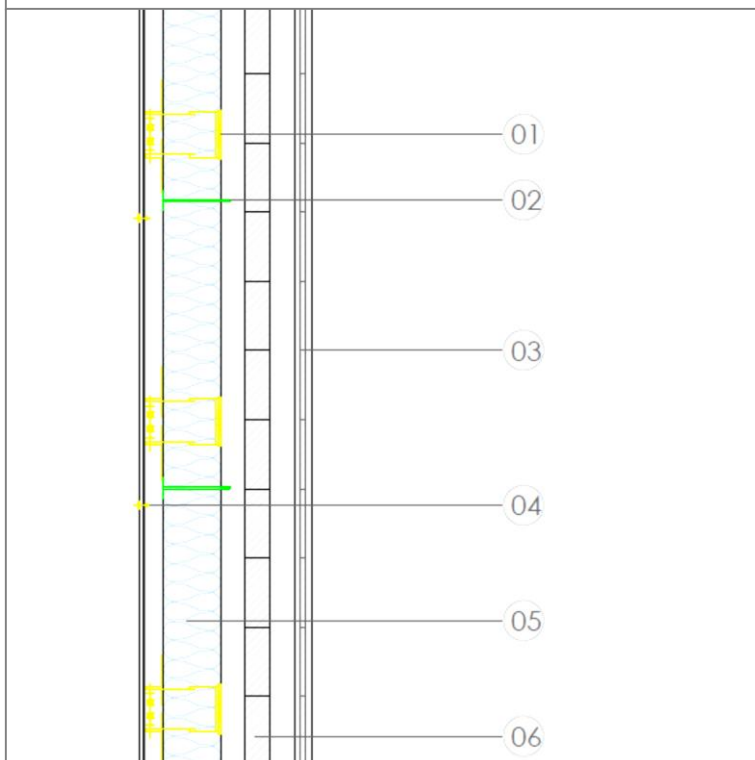


Figura 131: Pormenor da parede exterior (em corte)
 01. Suporte de parede
 02. Suporte de fixação do isolamento
 03. Placa de contraplacado marítimo, 30 mm (3 folhas)
 04. Placas de Viroc Ocre Lixadas, 8 mm
 05. Isolamento termo/ acústico- Lã de rocha, 100 mm
 06. Pannel de CLT, 128 mm (3 camadas)

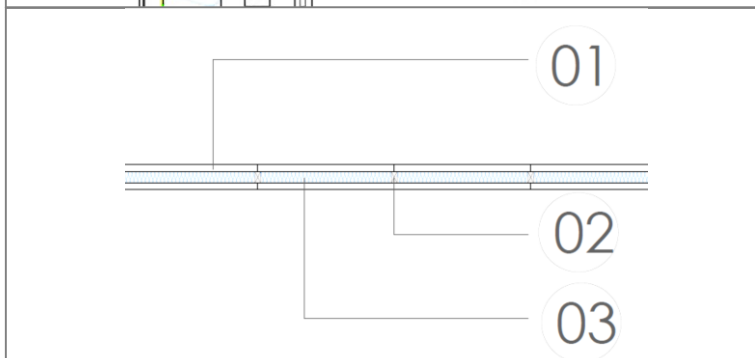


Figura 132: Pormenor de parede interior (em planta)
 01. Placas de contraplacado marítimo, 30 mm (3 folhas)
 02. Estrutura de madeira
 03. Lã de rocha, 50 mm

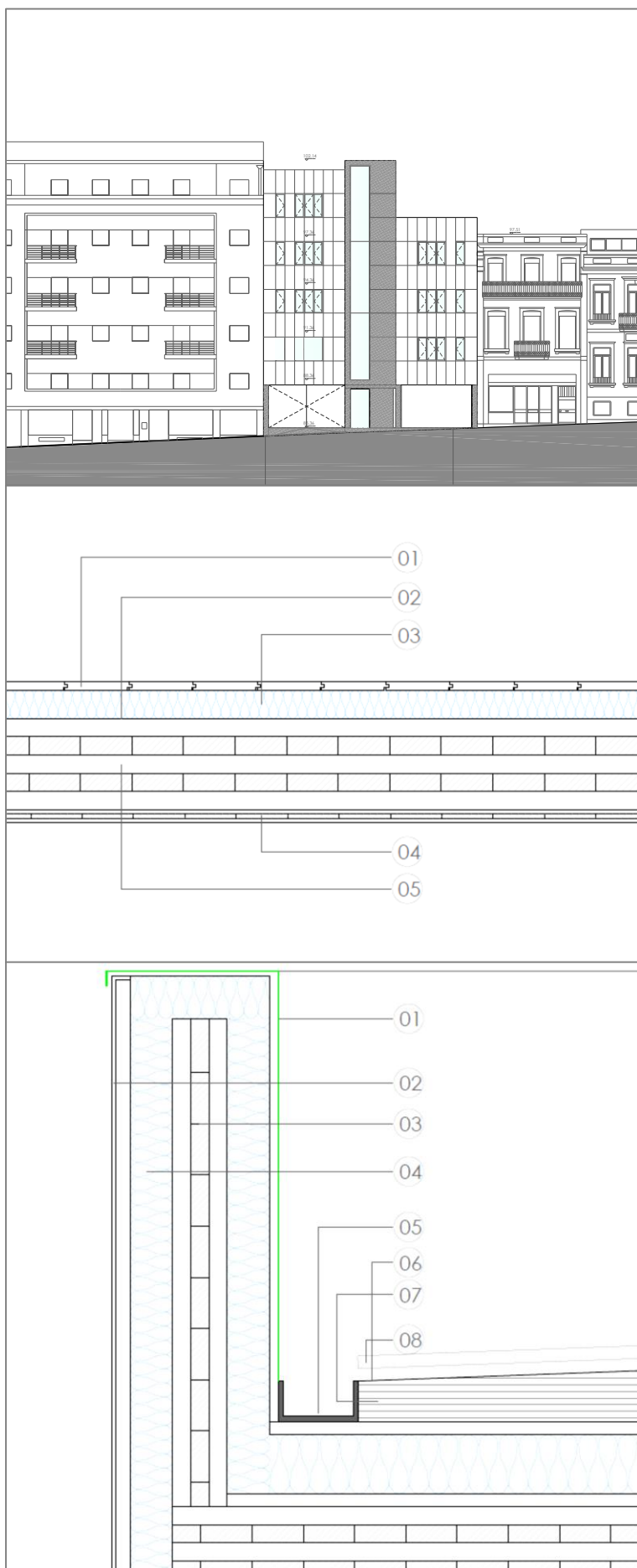


Figura 133: Alçado Nascente

Figura 134: Pormenor da laje de piso

- 01. Soalho de madeira, 20 mm
- 02. Tela resiliente (corte acústico)
- 03. Isolamento termo/ acústico – Lã de rocha, 60 mm
- 04. Placa de contraplacado marítimo, 30 mm
- 05. Placa de CLT, 213 mm (5 camadas)

Figura 135: Pormenor da cobertura dos volumes de madeira

- 01. Chapa de zinco
- 02. Placas de Viroc Ocre Lixadas, 8 mm
- 03. Painel de CLT, 128 mm (3 camadas)
- 04. Isolamento termo/ acústico - Lã de rocha, 100 mm
- 05. Calha em PVC
- 06. Tela impermeabilizante
- 07. Camada de forma madeira
- 08. Placa de contraplacado marítimo, 30 mm (3 folhas)

6.1.5.6. Escadas, corrimões e caixilharias

As escadas do edifício são em betão pois este é de fácil manutenção e muito resistente a abrasão e ao impacto. Os corrimões são de vidro, com uma estrutura tubular metálica de fixação na parte superior e nos pontos de mudança de direção da guarda. As guardas das varandas do alçado Poente são constituídas por placas de Viroc, idênticos aos utilizados para revestir exteriormente o edifício e, fixas à estrutura de CLT que compõem a laje.

As caixilharias são de madeira maciça, por forma a permitirem, no interior dos apartamentos, uma homogeneização de materiais. E as caixilharias do volume de betão são em alumínio anodizado.

NOTA: Ver Anexo A, onde são apresentadas todas as peças desenhadas referentes ao projeto, devidamente identificadas e com escala.

6.2. Principais problemáticas encontradas

No decorrer da elaboração do presente estudo, como do projeto, foram encontradas algumas problemáticas. No entanto, foi possível verificar que o proposto, isto é, habitação coletiva em madeira, além de ser possível em território nacional (nada aponta para o contrário), traz também múltiplas vantagens, de onde se destacam o seu excelente comportamento térmico, que se traduz numa melhor eficiência energética e consequente, redução de custos com a climatização dos edifícios e as questões ligadas à ecologia e sustentabilidade (ver subcapítulo 4.2.).

6.2.1. Legislação em vigor

Em Portugal verifica-se que não existe legislação específica para a construção de edifícios em madeira, assim como não existe legislação acerca de nenhum material, pelo que a sua elaboração se processa segundo o mesmo regulamento. Assim, o documento que rege a construção de edifícios em território nacional é a normativa europeia EN 1995 – 1-1: 2004.

Em relação ao cálculo estrutural de edifícios em madeira, o regulamento seguido é o Eurocódigo 5.

Como curiosidade, refere-se que o LNEC elaborou uma norma acerca da espécie de madeira mais utilizada em Portugal, o Pinho Bravo, a NP 4305.

6.2.2. Segurança contra incêndios

O Regulamento de Segurança contra Incêndios levou a que a caixa de acessos verticais fosse num material incombustível, quer as paredes, como os pisos e a cobertura, sendo que a possibilidade de a mesma ser construída em madeira foi excluída. Por motivos análogos, o mesmo se verificou em relação ao revestimento das paredes exteriores do edifício.

As placas de CLT com três camadas (placas usadas nas paredes no caso prático) asseguram uma estabilidade ao fogo de 30 minutos e as placas de CLT com cinco camadas (placas usada nas lajes no caso prático) asseguram uma estabilidade ao fogo de 60 minutos,⁶ valores aos quais acresce o conferido pela aplicação de isolamentos e de acabamentos.

NOTA: Ver legislação no anexo C1.

6.2.3.Comportamento acústico

A madeira apresenta algumas limitações no que se refere ao isolamento acústico, pelo que se torna imprescindível que se utilizem camadas de isolamento acústico nas construções em madeira por forma a mitigar este problema.

Embora o condicionamento acústico das construções em madeira seja muito favorável, este é sensível à aplicação de certos revestimentos. A aplicação de papel de parede, por exemplo, aumenta essa capacidade, já o envernizamento deteriora-a.⁷

Na construção em madeira, assim como em qualquer construção, é aconselhável o recurso a uma camada resiliente, utilizada para absorver os ruídos de precursão, ou seja, os ruídos que são transmitidos pela estrutura, como por exemplo, o barulho dos saltos dos sapatos.

A construção em madeira é, por isso, muitas vezes, considerada “pobre” em termos de isolamento acústico, o que se pode revelar bastante prejudicial principalmente em meios urbanos e muito movimentados. No entanto, o problema é facilmente resolvido, acrescentando uma tela resiliente, que funciona como corte acústico, nas lajes de piso. O recurso a lâ de rocha, com considerável espessura ajuda também a colmatar este problema, uma vez que este material além de ser o melhor e mais económico meio de isolar termicamente edifícios funciona, igualmente como isolante acústico.

⁶ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 40

⁷ TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 92-101

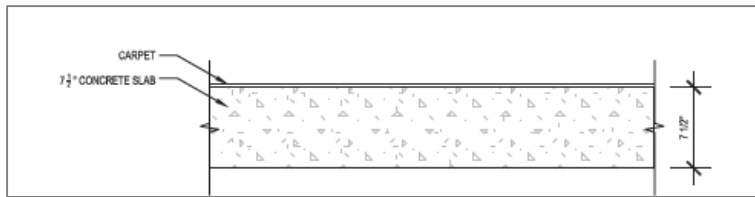


Figura 136: Laje do Dewitt-Chestnut Apartments

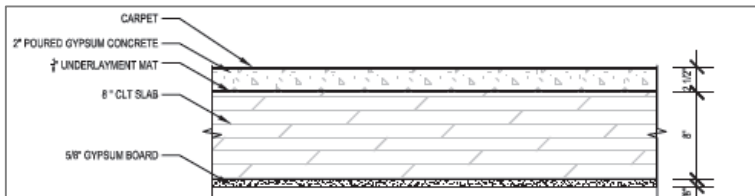


Figura 137: Laje dos apartamentos para aluguer do Timber Tower Research Project

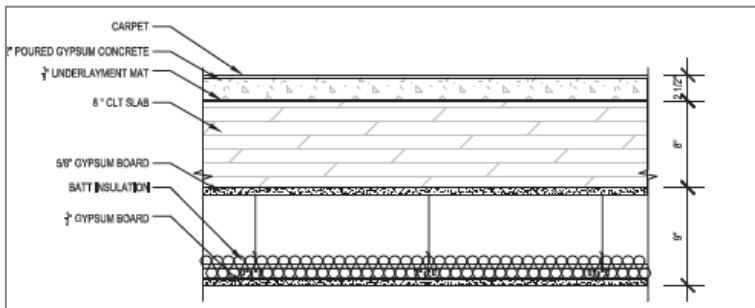


Figura 138: Laje dos apartamentos para venda do Timber Tower Research Project

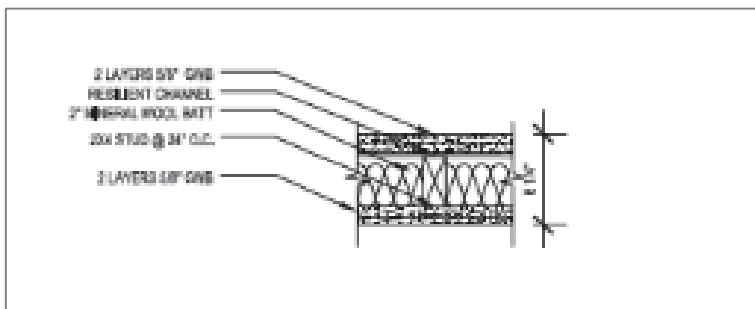


Figura 139: Parede do Dewitt-Chestnut Apartments

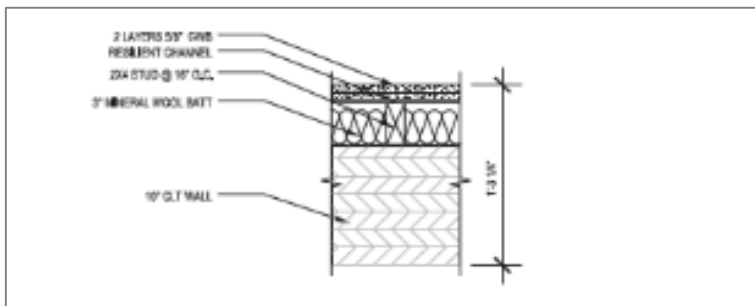


Figura 140: Parede dos apartamentos para aluguer do Timber Tower Research Project

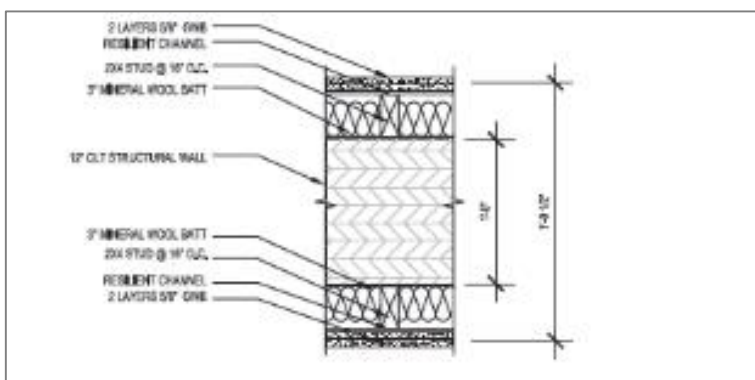


Figura 141: Parede dos apartamentos para venda do Timber Tower Research Project

O Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios é, por isso, neste caso, facilmente cumprível. A título de exemplo, apenas uma placa de CLT com espessura de 94 mm, consegue assegurar um isolamento sonoro mínimo de 32 dB, ao que acresce os valores conseguidos com a introdução de isolamentos e de acabamentos (note-se que as placas usadas no caso prático são de espessura superior, logo apresentam uma maior performance de isolamento acústico).

O caso do Timber Tower Research Project (ver subcapítulo 5.1.4.) pode ser usado como exemplo em termos de desempenho acústico uma vez que no estudo realizado pelo ateliê SOM consta uma análise comparativa entre o sistema proposto e o utilizado no Dewitt-Chestnut Apartments, edifício em betão.

EXIGÊNCIAS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO				
	IBC/ CBS¹	DEWITT CHESTNUT	RENTAL²	CONDO³
PISOS/ TETOS				
STC⁴	50	57	55	60
IIC⁵	50	65	55	60
PAREDES				
STC	50		55	55

Tabela 4: Comparação de performance acústica entre o Timber Tower Research Project e o Dewitt Chestnut

FONTE: SOM. 2013. Timber Tower Research Project. Chicago: SOM; 17

¹ Legislação Norte-americana a cumprir;

² Apartamentos para aluguer do Timber Tower Research Project;

³ Apartamentos para venda do Timber Tower Research Project;

⁴ Sound Transmission Class

⁵ Impact Insulation Class

NOTA: Ver legislação no anexo C2.

Tendo em conta a tabela acima apresentada é possível verificar que o sistema construtivo em madeira proposto é capaz de cumprir as exigências norte-americanas no que respeita às questões de isolamento acústico, permitindo, então, eficazmente, fazer face a esta “problemática”.

6.2.4. Estimativa orçamental

O caso do Finding Forest Through the Trees (ver subcapítulo 5.1.3.) pode ser usado como exemplo em termos de estimativa orçamental uma vez que, no estudo realizado pelo canadiano Michael Green, consta uma análise comparativa entre o sistema proposto e o de um edifício idêntico mas construído em betão.

COMPARAÇÃO DE CUSTOS	BETÃO (a)	MADEIRA (b)	DIFERENÇA (a – b)	PERCENTAGEM (%)
SUBESTRUTURA				
Fundações	433.400	309.600	- 123.800	- 29 % ¹
ESTRUTURA				
Piso inferior	41.300	41.300	0	0
Piso superior	1.325.200	2.331.500	+ 1.006.300	+ 76 % ²
Escada	96.000	129.600	+ 33.600	+ 35 % ³
Cobertura	103.200	167.700	+ 64.500	+ 63 % ⁴
EXTERIOR				
Paredes	302.700	302.700	0	0
Paredes de meiação	1.118.200	1.118.200	0	0
INTERIOR				
Paredes fixas	616.800	722.800	+ 76.000	+ 12 % ⁵
Paredes estruturais	1.176.300	661.400	- 514.900	- 44 % ⁶
...				
EXIGÊNCIAS GERAIS E TAXAS				
Exigências gerais	1.155.000	980.000	- 175.000	- 15 % ⁷
Taxas	602.200	384.500	- 217.700	- 36 % ⁸
TOTAL (Dólar 2011)	13.801.400	14.180.400	+ 379.000	+ 3 % ⁹

Tabela 5: Estimativa orçamental e análise comparativa do edifício do FTT e de uma construção semelhante em betão

FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 226

NOTAS:

¹ As construções em madeira permitem economizar nas fundações devido, como já referido, ao seu menor peso. Neste caso específico, prevê-se uma economia de 29 % em relação às fundações das construções em betão.

² A utilização de painéis de madeira com 250 mm de espessura na constituição do piso leva a um acréscimo de custo de cerca de 76 %.

³ As escadas neste caso, embora sejam em madeira, possuem um revestimento em betão, o que aumenta o seu custo em 35 %.

⁴ A utilização de painéis de madeira com 169 mm de espessura na constituição da cobertura leva a um acréscimo de custo de cerca de 63 %.

⁵ O Regulamento de Segurança contra Incêndios exige a utilização de painéis de gesso adicionais, o que aumenta 12 % ao valor das paredes em madeira.

⁶ O facto da caixa de acessos vertical do edifício ser em madeira em vez de betão, leva a uma economia de custos na ordem dos 44 %.

⁷ O facto das construções em madeira se realizarem mais rapidamente (em média, demoram menos dois meses e meio que as tradicionais) leva a uma economia nestes parâmetros de cerca de 15 %.

⁸ A construção em madeira recorre, geralmente, à utilização de elementos prefabricados, diminuindo, por isso, as operações de construção realizadas no local, que consequentemente leva a uma diminuição das taxas, neste caso em particular, de 36 %.

⁹ Embora, segundo a tabela, a construção em madeira tenha ficado mais cara do que a análoga em betão, este não é um valor significativo (apenas 3 %) o que, acredita-se não ser de todo limitativo pois, ao longo do presente estudo foi possível verificar que a construção de habitação coletiva em madeira acarreta diversas vantagens que podem superar este aspeto menos positivo. Crê-se, ainda,

que o facto de pagar um pouco mais por uma construção em madeira não representa obstáculo para um “cliente bem esclarecido”, pelo que se torna importante divulgar e elucidar a população em geral acerca dos benefícios de optar por madeira na construção.

Em termos de valores apresentados e, atendendo que os casos em comparação têm 103.200 sqft, isto é, 9587.6 m² e 114 apartamentos (unidades habitacionais), têm-se que:

	BETÃO (a)		MADEIRA (b)		DIFERENÇA (a-b)	
	Dólares (D)	Euros	Dólares	Euros (€)	Dólares (D)	Euros (€)
PREÇO POR M²	223	159.66	229	163.96	+ 6	+ 4.3
PREÇO POR UNID HAB.	209.112	149.72	214.885	153.85	+ 5.742	+ 4.13
TOTAL	13.801.400	9.881.53	14.180.400	10.152.88	+ 379.000	+ 271.35

Tabela 6: Comparação de preços por m² e por apartamento do edifício do FFTT e de uma construção semelhante em betão
 FONTE: GREEN, Michael. 2012. *The Case for Tall Wood Buildings: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. Vancouver: mgb ARCHITECTURE + DESIGN; 226

Capítulo 7: Considerações finais

7.1. Conclusão

7.1. Conclusão

A construção em madeira apresenta um grande potencial que, comumente se acredita não ser do conhecimento geral, pelo que o “preconceito” em relação à construção, em particular, de habitação, em madeira não se encontra bem fundamentado. Este estigma em território nacional deve-se, também, a um passado ao qual se associou a imagem de que a construção em madeira era pobre e deficitária, decorrente da rápida e pouco eficiente elaboração de estruturas neste material, para fazer face ao crescente aumento demográfico nas cidades, decorrente da revolução industrial.

As construções em madeira quando devidamente projetadas e executadas podem ser muito duráveis e resistentes, como o comprovam estruturas como o pagode japonês do Templo de Horyu Ji, cujo projeto original data do ano 607 d.C. Esta, apresenta um excelente comportamento face à ação de sismos devido às suas características físicas e mecânicas, de onde se destaca a ductilidade. Embora sendo um material combustível, a madeira apresenta um bom comportamento face à ocorrência de incêndio na medida em que apresenta uma combustão previsível e, ao contrário de outros materiais, não perde a função estrutural.

Este género de edificação origina estruturas mais leves que se traduz numa economia de fundações e, conseqüentemente, redução de custos. Esta procede-se mais rapidamente do que a construção com outros materiais e origina menos desperdícios, poluição da água e da atmosfera.

A madeira apresenta uma excelente performance térmica que se traduz no aumento do conforto interior e numa construção mais eficiente em termos de dispêndio de energia para aquecimento ou arrefecimento.

É o material mais sustentável disponível, uma vez que é o único que o Homem consegue repor na natureza durante o seu tempo de vida e, apresenta um impacto ambiental mínimo, armazenando dióxido de carbono, um dos gases responsáveis pelas alterações climáticas e o efeito de estufa. Este pode ser ainda, no seu fim de vida, reciclado e transformado em combustível. Numa era em que as questões ligadas à ecologia e à sustentabilidade são cada vez mais enfatizadas, a madeira afigura-se, assim, uma grande aliada para arquitetos e engenheiros; pode mesmo afirmar-se que construir em madeira é construir para o futuro.¹

Existe numa grande variedade de cores e texturas o que a torna um material nobre e muito versátil, abrindo caminho a um vasto leque de opções arquitetónicas. O, cada vez mais rico e competitivo, mercado dos derivados de madeira contribui, também nesse sentido, possibilitando, ainda, a rentabilização do material ao máximo, uma vez que muitos destes produtos são elaborados com recurso a aparas e resíduos do material original. Esta indústria encontra-se desenvolvida ao

¹ HERZOG, Thomas; NATTERER, Julius; SCHWETZER, Roland; VOLZ, Michael; Winter, Wolfgang. 2004. *Timber Construction Manual*. Basel: Birkhäuser; 49

ponto de competir diretamente com os outros materiais, caso nomeadamente da madeira laminada colada que possibilita a concretização de complexas formas curvas e permite o vencimento de vãos de considerável dimensão.

Embora careça de manutenção periódica, esta procede-se de forma simples e previne que o material se deteriore ao ponto de causar avultados estragos. Possibilita, também, a fácil montagem, desmantelamento e substituição de elementos. A madeira possibilita a integração de outros materiais, numa construção híbrida, o que faz deste um bom material não só para ser usado em construção nova, mas também para ser integrado em reabilitações.

É um material hidróscópico, isto é, absorve e expelle humidade, pelo que requer especial atenção no que diz respeito a impermeabilizações, o que deve ser cuidadosamente pensado na fase de projeto e seguidamente. Por esse motivo, aliás, se exige o seu afastamento do solo (por forma a evitar humidades ascensionais). No entanto, esta pode ser tida como uma característica benéfica uma vez que, ao regular os níveis de humidade, proporciona uma qualidade do ar superior.

Devido à sua reduzida massa, este é um material frequentemente tido como fraco em termos acústicos, no entanto, foi possível concluir que esta problemática é facilmente colmatada, através do recurso a telas resilientes e a lã de rocha mineral como isolamento.

Verificou-se, também que, comparativamente à de betão, a construção de edifícios em altura de madeira é ligeiramente mais dispendiosa. No entanto esta não é uma diferença considerável, uma vez que, segundo o caso apresentado, o edifício com estrutura de madeira ficou apenas 3 % mais caro do que o seu congénere de betão. É importante referir ainda que, a longo prazo, é possível fazer da opção pela madeira a mais económica na medida em que o seu excelente desempenho térmico permitirá a poupança em sistemas de aquecimento/ arrefecimento, além de todas as características ambientais que se lhe surgem associadas, fazendo desta uma opção mais sustentável e “de futuro”. Crê-se que o sucesso que a construção em madeira poderá ter num futuro próximo passa pela consciencialização da população acerca das vantagens do uso deste material e pela anulação de estigmas a esta frequentemente associados. Assim, acredita-se que um cliente bem esclarecido não excluirá a hipótese de construir em madeira só porque é, na fase da construção, ligeiramente mais dispendiosa. Pensa-se que incentivos governamentais para construir edifícios mais ecológicos poderiam ajudar o mercado da construção em madeira a crescer em Portugal, aliados a um esclarecimento global, divulgando todo o seu potencial.

A construção em madeira sofreu uma grande evolução ao longo dos tempos e, sempre de forma a tentar colmatar as falhas encontradas nos antecessores sistemas, sendo que, atualmente se apresenta perfeitamente competitiva face aos outros sistemas de construção. Embora seja uma realidade relativamente nova, são já vários os exemplos construídos e perfeitamente confirmados de que a madeira pode ser implantada em valências que antes pareciam fora de alcance, caso de edifícios urbanos de grande escala e de construções em altura. Exemplo do mesmo são os casos de estudo apresentados que traduzem o potencial e o quão vantajoso pode ser construir habitação coletiva em madeira.

Fontes consultadas

Bibliografia

Monografias eletrônicas/Publicações on-line

Teses/ Dissertações

Revistas/ Publicações em série

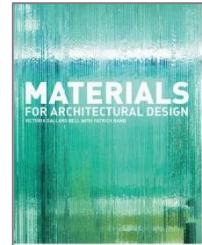
Sites visitados

Outras fontes

Fontes consultadas

Bibliografia

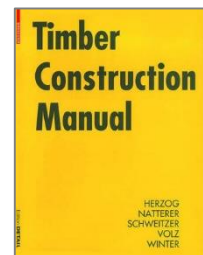
- BELL, Victoria Ballard; RAND, Patrick. 2006. *Materials for Architecture Design*. London: Lawrence King Publishing;



- BURCHALL, Jim. 1984. *Timber-Frame Housing*. Essex: Construction Press;



- HERZOG, Thomas; NATTERER, Julius; SCHWETZER, Roland; VOLZ, Michael; WINTER, Wolfgang. 2004. *Timber Construction Manual*. Basel: Birkhäuser;



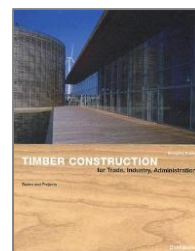
- HUGUES, Theodor; STEIGER, Ludwig; WEBER, Johann. 2007. *Construcción con Madera*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili;



- RGEU. 2010. *Regulamento Geral das Edificações Urbanas*. Porto: Porto Editora;



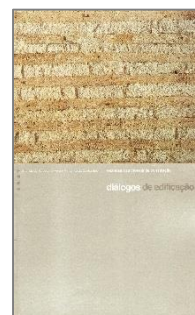
- RUSKE, Wolfgang. 2004. *Timber Construction for Trade, Industry, Administration*. Basel: Birkhäuser;



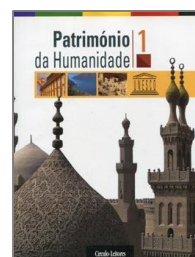
- SZUCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. 2008. *Estruturas de madeira*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina;



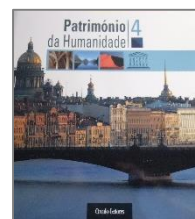
- TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa; BELÉM, Margarida da Cunha. [2008?]. *diálogos de edificação: técnicas tradicionais de construção*. 3ª ed. Porto: CRAT;



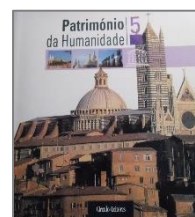
- UNESCO. 2004. *Património da Humanidade: Volume 1*. s.e. Rio de Mouro: Círculo de Leitores;



- UNESCO. 2005. *Património da Humanidade: Volume 4*. s.e. Rio de Mouro: Círculo de Leitores;



- UNESCO. 2005. *Património da Humanidade: Volume 5*. s.e. Rio de Mouro: Círculo de Leitores;



- VIDIELLA, Àlex Sánchez. 2012. *Arquitetura com madeira*. Barcelona: LOFT Publications;



Monografias eletrónicas/ Publicações on-line

- EUROPEAN WOOD. *Strategies for sustainable construction: Building with wood in China* [em linha]. [s.c.]: European Wood and Canada Wood, [2010?]. Disponível na Internet em: <<http://cn.europeanwood.org/fileadmin/ewi/media/building-with-wood.pdf>>



- GREEN, Michael. *The Case for Tall Wood Building: How Mass Timber offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. [em linha]. [Vancouver]: mgb ARCHITECTURE + DESIGN, 2012. Disponível na Internet em: <<http://wecbc.smallboxcms.com/database/rte/files/Tall%20Wood.pdf>>



- SOM. *Timber Tower Research Project*. [em linha]. [Chicago]: SOM. Disponível na Internet em: <<https://www.som.com/publication/timber-tower-research-project>>



- TRADA. *Stadthaus, 24 Murray Grove, London*. [em linha]. [Buckinghamshire]: TRADA Technology. 2009. Disponível na Internet em <http://eoinc.weebly.com/uploads/3/0/5/1/3051016/murray_grove_case_study.pdf>

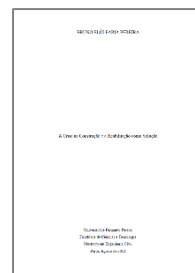


Teses/ dissertações

- MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. 2010. *Dimensionamento de estruturas em madeira: Coberturas e Pavimentos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa;



- PEREIRA, Bruno Elói Faria. 2012. *A Crise na Construção e a Reabilitação como solução*. Porto: Universidade Fernando Pessoa;



- PINTO, Edna Moura. 2001. *Proteção contra incêndio para habitações em madeira*. São Paulo: Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos;



- TORRES, João Tiago Caridade. 2010. *Sistemas Construtivos Modernos em Madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;



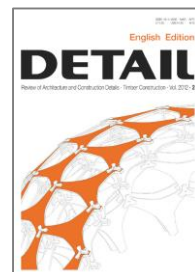
Revistas/ Publicações em série

- AVELLANEDA, Jaume. Maio, 2000. La construcción en madera hoy. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11, p. 6;



- FERRATER, Carlos. Maio, 2000. La actualidad del uso de la madera. *Tectónica Revestimientos madera (I)*, no 11;

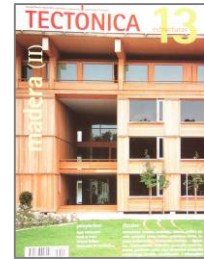
- GRULL, Gerhard. Março/ Abril, 2012. Coatings for Wood in Exterior Use. *Detail Review of Architecture and Construction Details. Timber Construction*, no 2, p. 172



- KAUFMANN, Hermann; STRAUCH, Rainer. Novembro, 2012. A resource-efficient synergy: hybrid timber constructions in buildings. *Detail Green*, no 2, p. 27;



- MARTITEGUI, Francisco Arriaga. Julho, 2001. Estructuras de madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, P. 4;



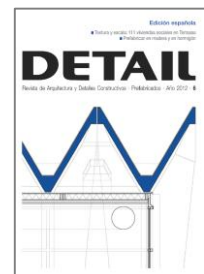
- PEDRO, Fernanda. Dezembro/ Janeiro, 2010/2 011. As casas de madeira do século XXI. *Arquitectura & Construção*, no 58, p. 130;



- PEREIRA, Alexandre Marques. Outubro, 2008. Treehouse: Uma casa para construir um lugar. *Arquitectura e Vida*, no 97;



- SCHANKULA, Arthur. Dezembro, 2012. Construcción prefabricada en madera. *Detail Revista de Arquitectura y Detalles Constructivos. Prefabricados*, no 6, p.34;



- SCHITTICH, Christian. Março/ Abril, 2012. Editorial. *Detail Review of Architecture and Construction Details. Timber Construction*, no 2, p. 116;
- THOMAS, Herzog. Julho, 2001. La Revolución de la madera. *Tectónica Estructuras madera (II)*, no 13, p. 1;

Sites visitados

- <http://hurbilimpa-solucoes.blogspot.pt/p/novas-tendencias.html>
- <http://madeiraestrutural.wordpress.com>

- <http://www.bosch-do-it.com/pt/pt/bricoleiros/conhecimento/dicas-de-utiliza%C3%A7%C3%A3o/o-que-%C3%A9-necess%C3%A1rio-saber-sobre-uni%C3%B5es-em-madeira-98627.jsp>
- <http://www.comofazer.org/casa-e-jardim/bricolage/como-fazer-unioes-de-topo/>
- <http://www.dicionarioinformal.com.br/lignina/>
- http://www-ext.lnec.pt/LNEC/DE/NESDE/divulgacao/gaiol_const_sism.html
- http://www.oasrn.org/pdf_upload/proteccaocontraincendio_dl_64_90.pdf
- http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/cdn/especializacoes/EngAcustica/dl96_2008.pdf
- <https://www.som.com/publication/timber-tower-research-project>
- http://www.tafibra.com/downloads/file85_pt.pdf
- http://www.viroc.pt/ResourcesUser/Documentos_Viroc/PT_Viroc_FichaProduto.pdf
- www.archdaily.com/220779/michael-green-presents-the-case-for-tall-wood-buildings/
- www.proholz.at

Outras fontes

- 2ª Conferência Construção e Reabilitação Sustentável de Edifícios no Espaço Lusófono. [2010?] *A sustentabilidade da pré-fabricação*. Lisboa: GEOTPU, FCT-UNL;
- INE-Instituto Nacional de Estatística. 2010. *Estatísticas da Construção e Habitação 2009*. Lisboa: INE
- SANTOS, Arq. João Carlos. 2012. Apontamentos pessoais das aulas de Edificações I. ULP

Anexos

Anexo A: Desenhos de Projeto

- A1. Desenhos da estratégia geral para o quarteirão
- A2. Planta do Piso 0
- A3. Plantas dos Pisos 1 a 4
- A4. Perfis longitudinais
- A5. Perfis transversais
- A6. Alçados
- A7. Corte construtivo e pormenores

Anexo B: Fotografias

B1. Fotografias do local

B2. Fotografias da Maqueta 1:200

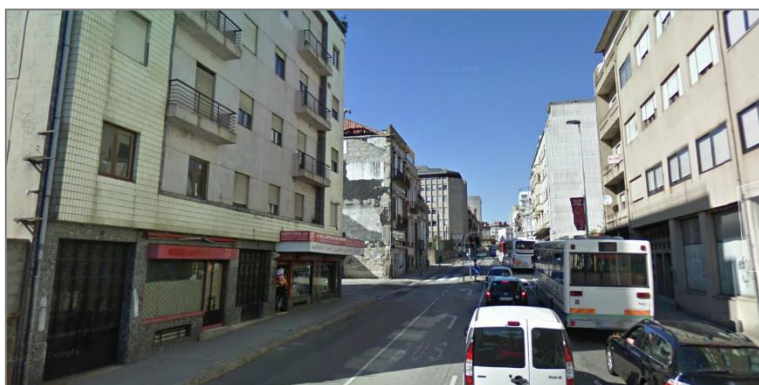
B3. Fotografias da Maqueta 1:50

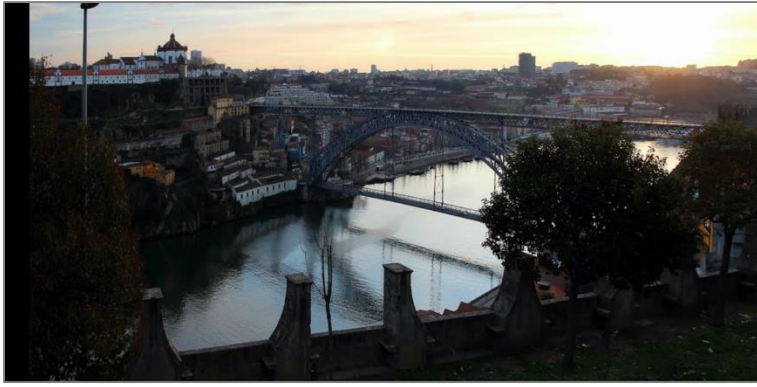
Anexo C: Legislação

C1. Regulamento de Segurança contra Incêndio

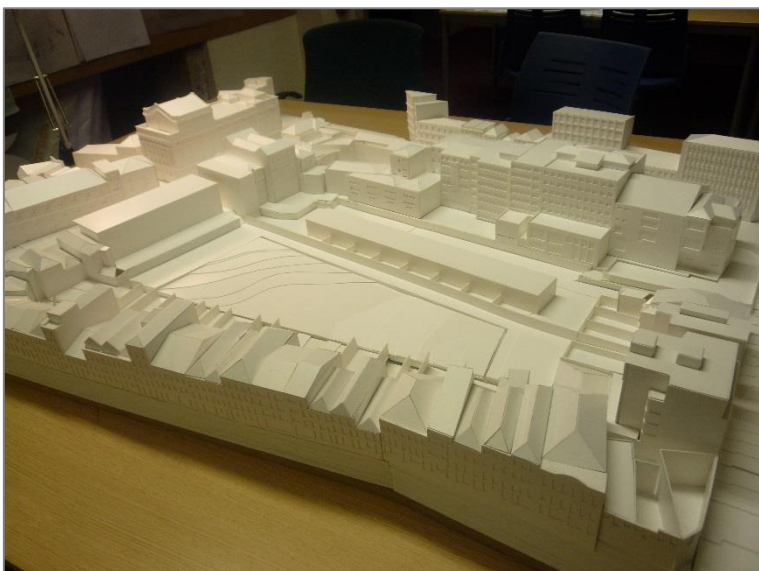
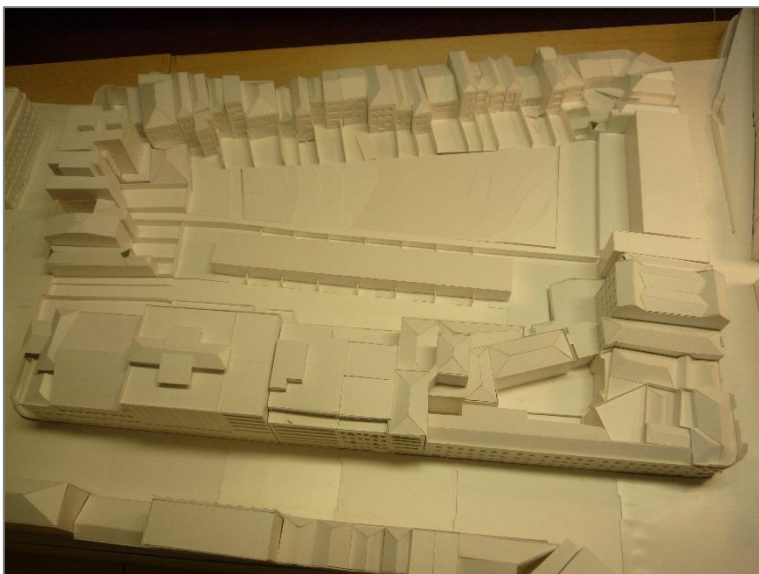
C2. Regulamento Geral do Ruído

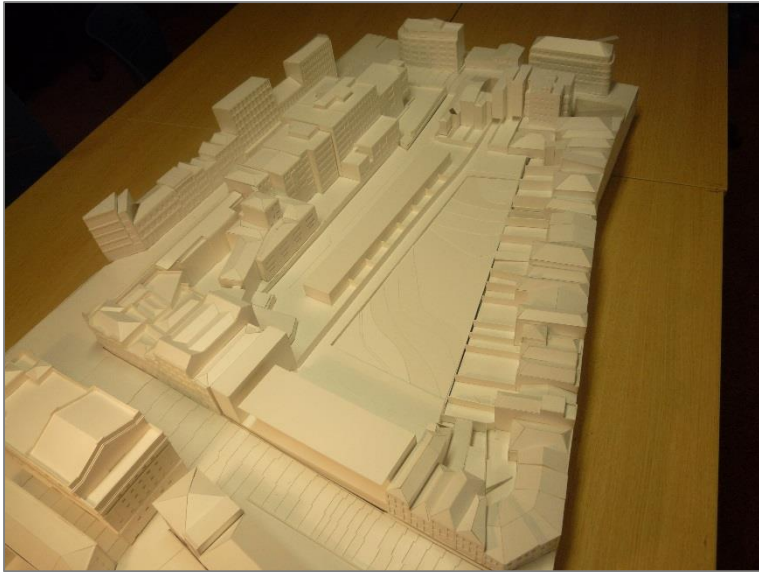
B1. Fotografias do local





B2. Fotografias da Maqueta 1:200





B3. Fotografias da Maqueta 1:50





C1. Regulamento de Segurança contra Incêndio

CAPÍTULO I

Generalidades

Artigo 25.º

Campo de aplicação

2 – “*Nos edifícios constituídos por corpos de alturas diferentes em que existam corpos de altura não superior a 9 m as reduções de exigências previstas para edifícios deste porte só lhes podem ser aplicadas desde que sejam separados dos restantes por paredes guarda-fogo da classe de resistência ao fogo CF 90, pelo menos.*”

Artigo 26.º

Critérios gerais de segurança

Os critérios que informam as disposições regulamentares de segurança contra incêndio relativas aos edifícios de habitação com altura não superior a 28 m são os a seguir indicados:

a) “*O edifício deve ser compartimentado por paredes guarda-fogo e pavimentos com resistência ao fogo adequada para fracionar a carga calorífica do seu conteúdo e para dificultar a propagação do incêndio entre os espaços definidos por essa compartimentação.*”

CAPÍTULO II

Compartimentação corta-fogo

Artigo 28.º

Elementos da compartimentação

1 – “*Os pavimentos devem ser da classe de resistência ao fogo CF 60, pelo menos; contudo, nos edifícios de altura não superior a 9 m os pavimentos podem ser da classe CF 30.*”

2 – “*As paredes guarda-fogo devem ser da classe de resistência ao fogo CF 90, pelo menos, e elevar-se a uma altura não inferior a 0,50 m acima da cobertura do edifício; contudo, nos edifícios de altura não superior a 9m, as paredes guarda-fogo podem ser da classe de resistência ao fogo CF 60.*”

CAPÍTULO III

Caminhos de evacuação em caso de incêndio

Artigo 30.º

Comunicações horizontais comuns

5 - As comunicações horizontais comuns interiores do edifício devem satisfazer as condições seguintes:

- a) *“As paredes que delimitam as comunicações devem ser da classe de resistência ao fogo CF 30, pelo menos.”*
- b) *“Os revestimentos internos das comunicações devem ser da classe de reação ao fogo M2, pelo menos, salvo o revestimento do piso, que pode ser da classe M3.”*

Artigo 32.º

Características das escadas

3 – *“As escadas devem ser construídas com materiais da classe de reação ao fogo M0.”*

5 – *“As escadas devem ser protegidas contra a exposição ao fogo e contra a invasão e permanência do fumo, com vista a possibilitar a sua utilização segura em caso de incêndio. Para tanto, as escadas devem ser separadas de espaços interiores dos edifícios por paredes da classe de resistência ao fogo CF 60, pelo menos, construídas com materiais da classe de reação ao fogo M0, e as restantes condições a satisfazer são diferenciadas, consoante se trate de escadas exteriores, que são ao ar livre ou devem dispor de amplas aberturas de arejamento, ou de escadas interiores, que necessitam de ventilação específica.”*

7 - As escadas interiores do edifício devem satisfazer as condições seguintes:

- a) *“Os revestimentos internos das escadas devem ser da classe de reação ao fogo M1, pelo menos, salvo o revestimento de piso, que pode ser da classe M2.”¹*

Artigo 144.º *“As escadas de acesso aos andares ocupados das edificações, incluindo os respectivos patamares, e bem assim os acessos comuns a estas escadas... serão construídos com materiais resistentes ao fogo, podendo, no entanto, ser revestidos com outros materiais. As escadas, desde que sirvam mais de dois pisos, serão encerradas em caixas de paredes igualmente resistentes ao fogo, nas quais não serão permitidos outros vãos em comunicação com o interior das edificações além das portas de ligação com os diversos pisos.”²*

¹ OASRN, acedido em 26-04-2013

(http://www.oasrn.org/pdf_upload/proteccacontraincendio_dl_64_90.pdf)

² Regulamento Geral das Edificações Urbanas. 2010. Segurança contra incêndios. Porto: Porto Editora; 52

Artigo 147.º “*Tanto nas habitações destinadas ao alojamento de três ou mais inquilinos acima do rés-do-chão como em todas as edificações com mais de três pisos, incluindo o rés-do-chão e o sótão, quando habitável, todas as paredes e os revestimentos dos tectos serão resistentes ao fogo.*”³

CAPÍTULO IV

Elementos de construção

Artigo 36.º

Elementos estruturais

1 – “*Os elementos estruturais que tem apenas funções de suporte devem ser da classe de resistência ao fogo EF 60, pelo menos, e os elementos estruturais com funções de suporte e de compartimentação devem ser de classe de resistência ao fogo não inferior a CF 60, salvo nos casos em que outras condições sejam expressamente definidas nesta parte do Regulamento.*”

2 – “*Nos edifícios de altura não superior a 9 m as exigências de resistência ao fogo indicadas no n.º 1 podem ser reduzidas para EF 30 e CF 30, respetivamente.*”

Paredes exteriores

1 – “*O revestimento externo das paredes exteriores deve ser da classe de reação ao fogo M2, pelo menos, exigência que pode ser reduzida para M3 nos edifícios de altura não superior a 9m.*”

2 – “*As caixilharias das janelas e os elementos de cerramento dos vãos, tais como persianas e estores exteriores, devem ser construídos com materiais da classe de reação ao fogo M3, pelo menos.*”

6 – “*As paredes exteriores com funções de parede de empena devem ser da classe de resistência ao fogo CF 60, pelo menos, e devem elevar-se a uma altura não inferior à da guarda da cobertura, indicada no n.º 4 do artigo seguinte.*”⁴

Classe de reação ao fogo	
M0	Materiais não combustíveis
M1	Materiais não inflamáveis
M2	Materiais dificilmente inflamáveis
M3	Materiais moderadamente inflamáveis
M4	Materiais facilmente inflamáveis

Tabela 3: Classes de reação ao fogo dos materiais⁵

FONTE: TAFIBRA, última atualização Junho 2006 (http://www.tafibra.com/downloads/file85_pt.pdf)

³ Regulamento Geral das Edificações Urbanas. 2010. Segurança contra incêndios. Porto: Porto Editora; 53

⁴ OASRN, acedido em 26-04-2013

(http://www.oasrn.org/pdf_upload/proteccaocontraincendio_dl_64_90.pdf)

⁵ TAFIBRA, última atualização Junho 2006

(http://www.tafibra.com/downloads/file85_pt.pdf)

C2. Regulamento Geral do Ruído

Artigo 3.

Definições

Para efeitos do presente Regulamento, entende-se por:

v) *“Zona mista» a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afectada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível.”*

x) *“Zona sensível» a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional... e de serviços destinadas a servir a população local... sem funcionamento no período nocturno.”*

Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

Artigo 5.º

Edifícios habitacionais e mistos, e unidades hoteleiras

1 — “Os edifícios e as suas fracções que se destinem a usos habitacionais ou que, para além daquele uso, se destinem também a comércio, indústria, serviços ou diversão, estão sujeitos ao cumprimento dos seguintes requisitos acústicos.”

a) “O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, $D2\ m, nT, w$, entre o exterior do edifício e quartos ou zonas de estar dos fogos deve satisfazer o seguinte:

i) “ $D2\ m, nT, w \geq 33\ dB$, em zonas mistas ou em zonas sensíveis reguladas pelas alíneas c), d) e e) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído.”

ii) $D2\ m, nT, w \geq 28\ dB$, em zonas sensíveis reguladas pela alínea b) do n.º 1 do artigo 11.º do Regulamento Geral do Ruído. ”

b) “O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, DnT, w , entre compartimentos de um fogo, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar de outro fogo, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte: $DnT, w \geq 50\ dB$ ”

c) “O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, DnT, w , entre locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte:

i) $DnT, w \geq 48\ dB$.

ii) $DnT, w \geq 40\ dB$, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores.

iii) $DnT, w \geq 50$ dB, se o local emissor for uma garagem de estacionamento automóvel.”

d) “O índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, DnT, w , entre locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, deve satisfazer o seguinte: $DnT, w \geq 58$ dB.”

e) “No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'nT, w$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos dos outros fogos ou de locais de circulação comum do edifício, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte: $L'nT, w \leq 60$ dB.”

f) “A disposição estabelecida na alínea anterior não se aplica, se o local emissor for um caminho de circulação vertical, quando o edifício seja servido por ascensores.”

g) “No interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos, como locais receptores, o índice de isolamento sonoro a sons de percussão, $L'nT, w$, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos de locais do edifício destinados a comércio, indústria, serviços ou diversão, como locais emissores, deve satisfazer o seguinte: $L'nT, w \leq 50$ dB.”

